

В. Г. БОРИСОВ
В. В. ФРОЛОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НАЧИНАЮЩЕГО РАДИОЛЮБИТЕЛЯ



МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 910

В. Г. БОРИСОВ, В. В. ФРОЛОВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НАЧИНАЮЩЕГО РАДИОЛЮБИТЕЛЯ

«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА, 1976

6Ф2.08
Б 82
УДК 621.317:621.396.6

Борисов В. Г. и Фролов В. В.

Б 82 Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя, М., «Энергия», 1976.

136 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 910)

В книге, рассчитанной, на широкий круг радиолюбителей, рассказывается о принципах электрических измерений, самостоятельном конструировании простых измерительных приборов, необходимых при разработке и настройке различных радиотехнических устройств, и работе с ними. Описываемый комплект измерительных приборов отмечен третьим призом на 26-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ.

Книга может служить практическим пособием для радиокружков, школ и внешкольных учреждений, занимающихся изучением и конструнрованием радиотехнических измерительных приборов.

Б $\frac{30405-294}{051(01)-76}$ 192-76 6Ф2.08

ВВЕДЕНИЕ

В подавляющем большинстве случаев радиолюбительское конструирование начинается с постройки сравнительно простых радиоприемников и усилителей низкой частоты. На этом начальном этапе часто можно обойтись без измерительных приборов. Если детали исправны и нет ошибок в монтаже, то устройство будет работать, хотя, возможно, и не с полной отдачей. Затем радиолюбителя влечет конструкция посложнее, потом еще сложнее. Чтобы качество работы таких конструкций отвечало предъявляемым к ним требованиям, обойтись без измерительных приборов уже нельзя. Без них трудно, а часто просто невозможно хорошо наладить и правильно оценить достоинства и недостатки сконструированной радиоаппаратуры.

В данной книге описываются самодельные измерительные приборы первой необходимости. В описываемый комплект входят девять приборов: авометр — комбинированный прибор для измерения постоянного тока, постоянных и переменных напряжений и сопротивлений; испытатель транзисторов, позволяющий измерять основные параметры маломощных низкочастотных и высокочастотных транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n*; транзисторные вольтметры постоянного и переменного токов с относительно большими входными сопротивлениями; измеритель *RCL* — прибор для измерения сопротивления, емкости и индуктивности; генераторы сигналов низкой и высокой частот; блок выпрямителей для питания от сети переменного тока приборов комплекта и налаживаемых транзисторных конструкций; низкочастотный электронно-лучевой осциллограф.

Все приборы, кроме осциллографа, имеют однотипное конструктивное и внешнее оформление. Испытатель транзисторов и транзисторные вольтметры постоянного и переменного токов выполнены в виде приставок к авометру, микроамперметр которого используется для оценки измеряемых электрических величин. Генератор сигналов низкой частоты служит для испытания, налаживания

и измерения основных параметров усилителей низкой частоты или низкочастотных трактов радиовещательных приемников. Генератор сигналов высокой частоты предназначен для испытания и налаживания высокочастотных трактов приемников прямого усиления и супергетеродинов. Оба эти генератора, соединенные между собой, могут использоваться, как источник амплитудно-модулированных высокочастотных сигналов.

Низкочастотный осциллограф является наиболее универсальным измерительным прибором. Помимо качественной оценки исследуемых колебаний с помощью осциллографа можно измерить ряд их параметров: максимальные и мгновенные значения напряжения и токов, мощность, длительность импульсов, частоту следования сигналов, девиацию частоты, фазовый сдвиг и т. д.

Комплект самодельных измерительных приборов, вошедших в лабораторию, не содержит дефицитных деталей, сложных узлов и может быть повторен в домашних условиях. Специальная глава книги посвящена технологии изготовления описываемых конструкций. Само же конструирование приборов расширит круг теоретических знаний и практических навыков радиолюбителя, повысит его техническую культуру.

Глава первая

ЗНАКОМСТВО С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Приборы магнитоэлектрической системы

Для непосредственного отсчета значений токов, напряжений и сопротивлений в измерительных приборах, например в авометрах, используют стрелочные измерители тока. Виды измерений при этом разные, а индикатор, по отклонению стрелки которого оценивают ту или иную электрическую величину, один. В качестве индикатора обычно используют приборы так называемой магнитоэлектрической системы, обладающие по сравнению с приборами других систем более высокой чувствительностью и имеющие равномерную шкалу. Внешний вид одного из приборов магнитоэлектрической системы — прибора М24 и схематическое устройство измерительного механизма этой системы показаны на рис. 1. Основным элементом измерительного механизма является рамка. Обмотка рамки намотана изолированным проводом на прямоугольном каркасе из тонкого картона, пропитанного лаком, или фольги. Удерживаясь на полуосях — кернах, рамка может поворачиваться в зазоре между полюсами сильного постоянного магнита и цилиндрическим сердечником. В этом зазоре создается равномерное магнитное поле, являющееся непременным условием равномерности шкалы прибора. На рамке закреплена легкая стрелка. Выводами обмотки рамки служат тонкие спиральные пружины, удерживающие ее в исходном положении, при котором стрелка прибора находится против нулевой отметки шкалы.

Когда в обмотке рамки появляется постоянный ток, то вокруг нее возникает магнитное поле, которое вступает во взаимодействие с магнитным полем постоянного магнита. При этом рамка стремится повернуться на полуосях так, чтобы полюсы ее магнитного поля оказались против полюсов постоянного магнита противоположной полярности. Чем больше ток, текущий через рамку, тем сильнее ее магнитное поле, тем больше усилие, поворачивающее ее, а вместе с ней и стрелку вокруг оси. Как только ток в рамке и ее магнитное поле исчезнут, рамка со стрелкой возвращается в исходное (нулевое) положение. Таким образом, магнитоэлектрический прибор является не чем иным, как преобразователем постоянного тока в механическое усилие, поворачивающее рамку. О значении этого тока судят по углу поворота рамки.

Прибор магнитоэлектрической системы независимо от его типа является измерителем только постоянного (или постоянной состав-

ляющей пульсирующего) тока. Чтобы он стал измерителем переменных токов и напряжений, а также сопротивлений, эти измеряемые электрические величины должны быть предварительно преобразованы в пропорциональные им постоянные или пульсирующие токи.

Достаточно полную информацию о приборе дают символические обозначения на его шкале. Изображение подковообразного магнита с зачерненным прямоугольником между его полюсами (рис. 2, *а*) —

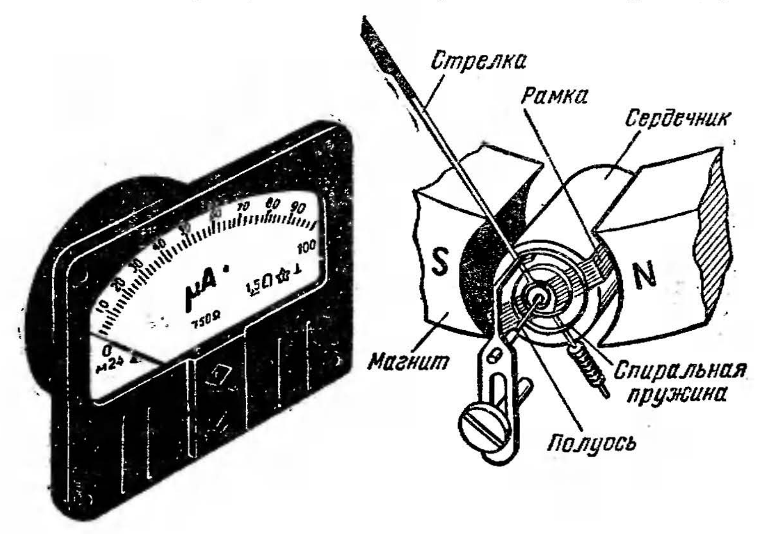


Рис. 1.

1,5 2

а) *б)* *в)*

Рис. 2.

это обозначение прибора магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой. Рядом — прямая горизонтальная черточка, говорящая о том, что прибор предназначен для измерения постоянного тока. Число внутри пятиконечной звезды (рис. 2, *б*) указывает максимально допустимое испытательное напряжение (в киловольтах), которое может выдержать изоляцию прибора.

Еще одно число характеризует класс точности прибора. Класс точности — это численный показатель наибольшей возможной погрешности прибора, выраженной в процентах от конечного (наибольшего) значения шкалы. Например, микроамперметр на ток 100 мкА

класса точности 1,5 при измерении может дать ошибку 1,5 мкА (1,5% от 100 мкА). Для радиолюбительских измерений можно использовать макроамперметры классов точности 1—2,5.

На шкале прибора может быть также знак в виде двух взаимно перпендикулярных линий (рис. 2, *в*) или П-образной скобы. Первый из них указывает, что рабочее положение прибора должно быть вертикальным, второй — горизонтальным. Если этих знаков нет, значит прибор может работать как при вертикальном, так и при горизонтальном положении шкалы.

Существуют два основных электрических параметра, по которым судят о возможном применении прибора: ток полного отклонения стрелки $I_и$, т. е. ток, при котором стрелка отклоняется до конечной отметки шкалы, и сопротивление рамки $R_и$. О значении первого параметра говорит сама шкала. Так, например, если это — микроамперметр (в центре шкалы — буквы μA) и возле конечной отметки шкалы стоит число 100, значит ток полного отклонения стрелки равен 100 мкА. Значение второго параметра, выраженное в омах, часто указывают в средней части шкалы. Чем меньше ток полного отклонения стрелки, тем, как правило, больше сопротивление рамки прибора.

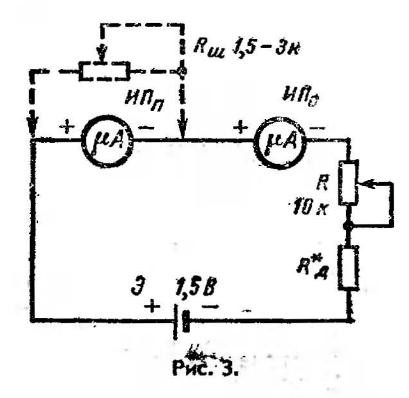


Рис. 3.

В распоряжении радиолюбителя может оказаться прибор магнитоэлектрической системы, используемый ранее в вольтметре или амперметре переменного тока, частотомере или каком-либо другом измерительном приборе. Если основные параметры прибора ($I_и$ и $R_и$) соответствуют заданным, такой прибор также можно использовать при конструировании.

Измерить параметры $I_и$ и $R_и$ неизвестного прибора можно по схеме, показанной на рис. 3. Для этого потребуются: образцовый микроамперметр $ИП_о$ (желательно класса 0,1—0,5, в крайнем случае — авометр, включенный на предел измерений тока до 1—10 мА), переменный резистор *R* сопротивлением 5—10 кОм, гальванический элемент 332 или 343 и постоянный резистор, называемый в данном случае добавочным. Роль добавочного резистора $R_д$ весьма ответственная: он должен ограничивать ток в цепи, в которую включается неизвестный (проверяемый) прибор, и тем самым защищать его от перегрузок.

Если при подключении источника питания ток в цепи окажется значительно больше тока $I_и$ проверяемого прибора, то его стрелка, резко отклоняясь за пределы шкалы, может погнуться, а если ток очень большой, то может даже сгореть обмотка рамки.

Сопротивление добавочного резистора можно рассчитать, пользуясь законом Ома ($I=U/R$). Поначалу в порядке страховки следует полагать, что $I_и$ проверяемого прибора не превышает 50 мкА.

Тогда при напряжении источника питания 1,5 В (один элемент) сопротивление добавочного резистора должно быть около 30 кОм

$$\left(R_{Д} = \frac{U}{I} = \frac{1{,}5\ \text{В}}{0{,}00005\ \text{А}} = 30\ \text{кОм}\right).$$

Проверяемый измерительный прибор $ИП_{п}$, образцовый микроамперметр $ИП_{о}$, переменный резистор R и добавочный резистор $R_{д}$ соединяют последовательно. Проверив, нет ли ошибок в полярности соединения зажимов приборов, движок переменного резистора R ставят в положение наибольшего сопротивления (по схеме — в крайнее нижнее положение) и только после этого включают в цепь гальванический элемент. Стрелки обоих приборов должны отклониться. По мере уменьшения введенного в цепь сопротивления переменного резистора R стрелки приборов будут удаляться от нулевых отметок шкал. Заменяя добавочный резистор резисторами меньшего номинала и изменяя движком сопротивление переменного резистора, надо создать в цепи такой ток, при котором стрелка проверяемого прибора установится точно против конечной отметки шкалы. Значение этого тока, отсчитанное по шкале образцового микроамперметра, и будет током $I_{и}$ проверяемого прибора.

Затем параллельно проверяемому прибору подключают переменный резистор $R_{ш}$ (на рис. 3 показан штриховыми линиями) сопротивлением 1,5—3 кОм и с его помощью добиваются, чтобы ток через прибор $ИП_{п}$ уменьшился вдвое. При этом общее сопротивление измерительной цепи несколько уменьшится, а ток увеличится. Затем с помощью переменного резистора R устанавливают по образцовому микроамперметру начальный ток в цепи, а резистором $R_{ш}$ добиваются установки стрелки прибора $ИП_{п}$ точно против средней отметки шкалы. Тогда $R_{и}$ проверяемого прибора будет равно сопротивлению введенной части резистора $R_{ш}$. Это сопротивление измеряют омметром. Желательно, чтобы ток $I_{и}$ микроамперметра, используемого для приборов описываемой лаборатории, был не более 200 мкА, а его шкала возможно большей. С такими приборами удобнее работать, у них выше точность отсчета. Относительно малый $I_{и}$ и достаточно большую шкалу имеют, например, приборы типов М24, М265, М900 и некоторые другие.

Измерение токов

Для измерения тока, текущего в электрической цепи, измерительный прибор $ИП$ включают последовательно (рис. 4), т. е. в разрыв цепи, чтобы через прибор шел весь измеряемый ток. При этом надо помнить, что измеряемый ток не должен превышать тока полного отклонения стрелки измерительного прибора $I_{и}$, иначе стрелка прибора будет «зашкаливать», измерения станут невозможными и даже опасными — измерительный механизм прибора может выйти из строя.

Для измерения тока, превышающего ток $I_{и}$ прибора, параллельно ему включают резистор $R_{ш}$ (рис. 5). В этом случае измеряемый ток идет не только через измерительный прибор $ИП$, например микроамперметр, но и через резистор $R_{ш}$, называемый в данном случае шунтом, причем доля тока, протекающего через шунт, тем больше, чем меньше его сопротивление по сравнению с сопротивлением $R_{и}$ прибора. В результате ток через измерительный прибор уменьшается и стрелка прибора отклоняется на меньший угол.

Сопротивление шунта $R_ш$, зависящее от выбранного предела измерений и параметров измерительного прибора, рассчитывают по формуле

$$R_ш = \frac{R_и}{I_п/I_и - 1},$$

где $I_п$ — выбранный предел измерений.

Электрические величины, подставляемые в формулу, должны быть выражены в вольтах (В), амперах (А), омах (Ом).

Предположим, имеется микроамперметр М24 с такими (округленными для упрощения расчета) параметрами: $I_и = 100$ мкА (0,0001 А), $R_и = 1000$ Ом. Каково должно быть сопротивление шун-

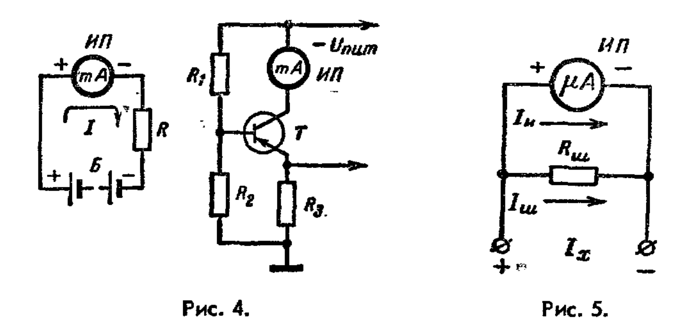


Рис. 4. Рис. 5.

та, чтобы таким прибором можно было измерять токи до 100 мА (0,1 А)?

$$R_ш = \frac{R_и}{I_п/I_и - 1} = \frac{1000}{0,1/0,0001 - 1} \approx 1 \text{ Ом}.$$

Чтобы с помощью одного и того же микроамперметра можно было измерять токи, различающиеся в сотни и тысячи раз, к нему надо подключать шунты разных сопротивлений (точнее — прибор к различным шунтам, так как первым в цепь должен включаться шунт, а к нему уже подключаться измерительный прибор, а не наоборот). Получится многопредельный измеритель тока.

Для превращения микроамперметра в многопредельный измеритель тока чаще используют не отдельные шунты, а один общий ступенчатый шунт с отводами. Такой шунт называется универсальным.

Возможная схема трехпредельного измерителя тока с универсальным шунтом показана на рис. 6. Универсальный шунт $R_ш$ образуют резисторы $R_{ш1}$—$R_{ш3}$, соединенные между собой последовательно. Переход с одного предела измерений на другой осуществляется переключателем B. Положение переключателя $I_{п1}$ соответствует первому, наименьшему пределу измерений, $I_{п2}$ — второму, $I_{п3}$ — третьему, наибольшему пределу измерений. Прибор включают в цепь измеряемого тока с помощью щупов, подключаемых к зажимам I_x.

Резисторы, составляющие универсальный шунт, можно рассчитать так, чтобы второй предел измерений был в 10 раз больше пер-

вого предела, третий — в 10 раз больше второго и т. д. В таком случае отсчет измеряемых токов ведут по одной, общей для всех пределов шкале. Изменяется только цена ее делений в соответствии с установленным пределом измерений.

Рис. 6.

Допустим, в измерителе тока, выполненном по схеме, показанной на рис. 6, используется микроамперметр с теми же параметрами ($I_и = 100$ мкА, $R_и = 1000$ Ом), что и раньше. Прибор должен быть рассчитан на измерение токов: на первом пределе $I_{п1}$ — до 1 мА, на втором $I_{п2}$ — до 10 мА, на третьем $I_{п3}$ — до 100 мА.

Сначала рассчитывают общее сопротивление шунта, соответствующее первому пределу измерений. Делают это по вышеприведенной формуле. Для нашего примера полное сопротивление универсального шунта

$$R_ш = \frac{R_и}{I_{п1}/I_и - 1} = \frac{1000}{0,001/0,0001 - 1} = 111,1 \text{ Ом}.$$

С целью упрощения расчета общее сопротивление шунта можно округлить до 110 Ом. После этого рассчитывают сопротивления резисторов, составляющих шунт, начиная с резистора наибольшего предела измерений:

$$R_{ш3} = \frac{I_и}{I_{п3}} (R_ш + R_и) = \frac{0,0001}{0,1} \cdot 1110 = 1,1 \text{ Ом};$$

$$R_{ш2} = \frac{I_и}{I_{п2}} (R_ш + R_и) - R_{ш3} = \frac{0,0001}{0,01} \cdot 1110 - 1,1 = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{ш1} = \frac{I_и}{I_{п1}} (R_ш + R_и) - R_{ш2} - R_{ш3} =$$

$$= \frac{0,0001}{0,001} \cdot 1110 - 10 - 1,1 = 99,9 \text{ Ом}.$$

В таком же порядке можно рассчитать шунт на другие пределы измерений, а также на любое их число и для приборов с другими значениями $I_и$ и $R_и$. Сопротивление универсального шунта, как бы точно он ни был рассчитан, при калибровке прибора обязательно приходится подгонять под выбранные пределы измерений.

Принципиально так же работают и измерители переменного тока, выполненные на базе приборов магнитоэлектрической системы, только в них переменный ток предварительно выпрямляется.

Радиолюбителю, особенно начинающему, очень редко приходится сталкиваться с необходимостью измерения переменного тока, поэтому такой вид электрических измерений и не предусмотрен в приборах описываемой лаборатории.

Измерение напряжений

Для измерения напряжения источника питания, падения напряжения на резисторе или каком-либо участке цепи вольтметр подключают параллельно, как показано на рис. 7. Однако, если в качестве вольтметра используется прибор магннтоэлектрической системы, можно измерять только очень малые напряжения. В самом деле, ведь для того, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу, достаточно напряженця всего иесколько десятых долей вольта. Для

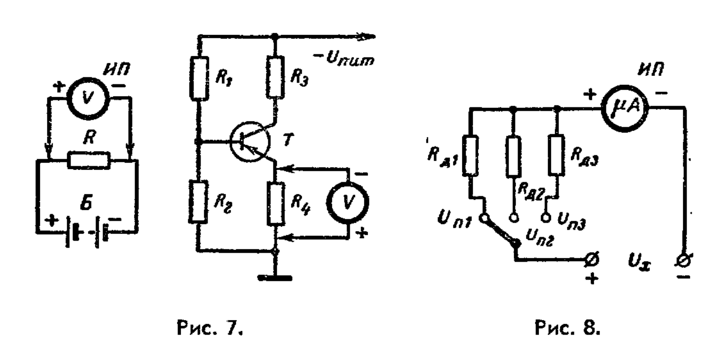


Рис. 7. Рис. 8.

прибора с током полного отклонения $I_и = 100$ мкА и сопротивлением $R_и = 1000$ Ом это напряжение

$$U_и = I_и R_и = 0{,}0001 \cdot 1000 = 0{,}1 \text{ В},$$

поэтому подключать такой прибор к участкам цепи с большим напряжением нельзя: можно испортить прибор. Для расширения пределов измерений последовательно с прибором включают добавочный резистор, гасящий избыточное напряжение, а чтобы прибором можно было измерять напряжения, различающнеся в десяткн, сотни и тысячи раз, используют добавочные резисторы разных сопротивлений.

В качестве примера на рвс. 8 изображена схема трехпредельного вольтметра постоянного тока. Вместе с добавочным резистором $R_{д1}$ микроамперметр *ИП* образует измерительную цепь первого, с резистором $R_{д2}$ — второго, с резистором $R_{д3}$ — третьего пределов. Переключение пределов измерений осуществляется переключателем *В*.

Расчет сопротивления добавочного резистора каждого предела измерений производят по формуле

$$R_д = \frac{U_п}{I_и} - R_и,$$

где $U_п$ — напряжение выбранного предела измерений.

Предположнм, вольтметр, выполненный по схеме, показанной на рис. 8, должен иметь пределы измерений: 1; 5 и 10 В. Параметры

микроамперметра *ИП* те же: $I_и = 100$ мкА, $R_п = 1000$ Ом. В этом случае

$$R_{д1} = \frac{1}{0{,}0001} - 1000 = 9 \text{ кОм};$$

$$R_{д2} = \frac{5}{0{,}0001} - 1000 = 49 \text{ кОм}; R_{д3} = \frac{10}{0{,}0001} - 1000 = 99 \text{ кОм}.$$

Важнейший параметр вольтметра — его входное сопротивление. Оно слагается из сопротивления рамки измерительного прибора и сопротивления добавочного резистора данного предела измерений. Чем больше входное сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением участка цепи, напряжение на котором надо измерить, тем точнее будут результаты измерения. Входные сопротивления только что рассчитанного вольтметра будут: на первом пределе $U_{п1}$ — 10 кОм, на втором $U_{п2}$ — 50 кОм, на третьем $U_{п3}$ — 100 кОм. Из сравнения пределов измерений и входных сопротивлений вольтметра видно, что на каждый вольт напряжения любого предела измерений приходится одно и то же входное сопротивление 10 кОм. В связи с этим вольтметры оценивают еще величиной относительного входного сопротивления, приходящегося на 1 В предельного напряжения. Относительное входное сопротивление вольтметра, рассчитанного здесь в качестве примера, равно 10 кОм/В. Нетрудно заметить, что относительное входное сопротивление вольтметра целиком зависит от параметров примененного микроамперметра. Чем меньше его ток полного отклонения, тем больше относительное входное сопротивление вольтметра, построенного на нем, и наоборот.

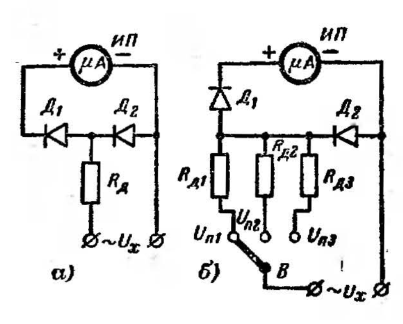


Рис. 9.

Шкала вольтметра постоянного тока, как и шкала миллиамперметра или амперметра магнитоэлектрической системы, равномерная, поэтому для отсчета измеряемых постоянных токов и напряжений можно пользоваться одной общей шкалой.

Чтобы тот же микроамперметр можно было использовать для измерения напряжений переменного тока, в прибор вводят выпрямитель. Для примера на рис. 9, *а* приведена схема однопредельного вольтметра переменного тока с однополупериодным выпрямителем. Роль выпрямителя выполняет диод $Д_1$. При положительной полуволне напряжения на левом (по схеме) входном зажиме U_x ток идет через добавочный резистор $R_д$, диод $Д_1$ и микроамперметр *ИП*. При изменении полярности измеряемого напряжения диод $Д_1$ закрывается и ток идет через диод $Д_2$, минуя микроамперметр. Таким образом, через микроамперметр течет ток, пульсирующий с частотой измеряемого переменного напряжения. Избыточное напряжение гасит доба-

вочный резистор $R_д$. Сколько пределов измерений, столько нужно и добавочных резисторов (рис. 9, *б*).

Шкалы вольтметра переменного тока не совпадают со шкалами постоянного тока. Объясняется это тем, что вольт-амперные характеристики диодов, используемых в выпрямителях, нелинейны, особенно при небольших напряжениях. Поэтому ток через магнитоэлектрический прибор не прямо пропорционален измеряемым переменным напряжениям.

Показания вольтметров, содержащих выпрямители, зависят и от частоты измеряемых токов. При токах низких частот стрелка магнитоэлектрического прибора заметно колеблется, так как через него течет пульсирующий ток и в промежутках между импульсами она под действием возвратных пружин успевает повернуться на некоторый угол в направлении нулевого положения. При измерении токов высокой частоты возникает шунтирование *p-n* переходов полупроводниковых диодов емкостями этих переходов, в результате чего выпрямленный ток и показания прибора уменьшаются. Это явление сказывается при измерении токов всех частот, и если говорить строго, то градуировка шкалы соответствует только току той частоты, на которой она была произведена.

Расчет сопротивлений добавочных резисторов вольтметров переменного тока отличается от расчета подобных резисторов прибора для измерения постоянного тока. Объясняется это тем, что параллельно измерительному прибору включены шунтирующие его диоды. Поэтому при расчете добавочных резисторов вольтметра переменного тока исходным является не постоянный ток $I_и$ микроамперметра, а переменный ток, протекающий через добавочный резистор и зависящий от способа включения диодов выпрямителя, параметров диодов и ряда других причин. Для вольтметра, схема которого показана на рис. 9, *а*, ток переменный примерно в 2,22 раза превышает ток $I_и$, поэтому и сопротивления добавочных резисторов должны быть во столько же раз меньше, чем в вольтметре постоянного тока. Окончательно же их, как правило, подбирают опытным путем.

Повышение входного сопротивления вольтметра

В ряде случаев то или иное напряжение в цепях усилителей низкой частоты, радиоприемников, телевизоров или других радиотехнических устройств можно измерить только вольтметром с относительно большим входным сопротивлением. Необходимость в таком вольтметре возникает, например, при работе с транзисторной аппаратурой, в которой напряжения малы и приходится пользоваться низковольтными пределами измерения. В подобных случаях вольтметры, созданные на базе приборов магнитоэлектрической системы, так сильно шунтируют измеряемую цепь, что результаты измерений не соответствуют истинным напряжениям. Производить измерения в таких цепях можно только при помощи электронного (транзисторного или лампового) вольтметра, представляющего собой сочетание прибора магнитоэлектрической системы и соответственно транзисторного или лампового усилителя измеряемых напряжений. Входное сопротивление такого вольтметра определяется входным сопротивлением его усилителя и может быть от сотен килоом до нескольких мегаом. К прибору магнитоэлектрической системы, используемому в электронных вольтметрах, не предъявляется особенно

высоких требований по чувствительности — он может быть рассчитан на ток 100—300 мкА и даже больше.

Одиако не каждый усилитель пригоден для электронного вольтметра. Усилитель должен содержать специальные цепи, позволяющие подключать его вход к участкам аппаратуры с различными иапряжениями и компенсирующие его иачальные токи. В противном случае начальные токи вызывают отклонение стрелки прибора даже при отсутствии измеряемого напряжения на входе усилителя.

Схема возможного варианта простейшего транзисториого вольтметра изображена на рис. 10. Измеряемое напряжение U_x через резисторы R_1 и R_2 подается на базу транзистора T, вызывая ток через его эмиттерный *р-п* переход. Этот ток усиливается транзистором, в

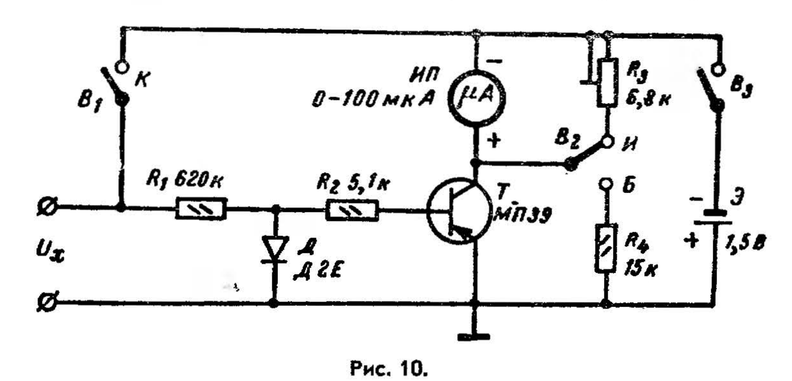


Рис. 10.

результате чего стрелка прибора, включенного в его коллекторную цепь, отклоняется на угол, почти пропорциональный измеряемому напряжению. При одном и том же измеряемом напряжении угол, иа который отклоняется стрелка прибора, зависит в основном от значений $I_и$ прибора и статического коэффициента передачи тока $B_{ст}$ транзистора.

Резисторы R_1, R_2 и эмиттерный *р-п* переход траизистора, сопротивление которого может быть 300—500 Ом, образуют делитель измеряемого напряжения. При этом иа долю эмиттериого перехода приходится лишь иесколько десятых долей вольта. Но такого напряжения вполне достаточио, чтобы в коллекторной цепи транзистора, а значит и через измерительный прибор, создать ток в несколько миллиампер. Большая же часть измеряемого напряжения падает иа резисторах R_1 и R_2. Они в данном случае выполияют роль добавочного резистора, гасящего избыточное напряжение в цепи базы транзистора. Осиовным добавочным резистором является резистор R_1, сопротивление которого более чем в 100 раз больше сопротивления резистора R_2.

Диод *Д* в этом приборе защищает транзистор от повреждения при ошибочиом подключении измерительных щупов, когда на базу транзистора *р-п-р* структуры поступает плюс измеряемого иапряжения. В таком случае диод шунтирует участок R_2— эмиттерный *р-п* переход траизистора и все измеряемое иапряжеиие падает на добавочном резисторе R_1.

Рассматриваемый вольтметр — однопредельный. При данных резисторов и измерительного прибора, указанных на схеме, предел измерений вольтметра 3 В. При этом относительное входное сопротивление вольтметра, определяемое в основном сопротивлением добавочного резистора R_1, около 200 кОм/В, в то время как ток полного отклонения стрелки микроамперметра $I_и = 100$ мкА. Относительное входное сопротивление вольтметра, созданного на базе такого же микроамперметра, но без транзисторного усилителя составляло бы 10 кОм/В. Для предела измерений 1 В сопротивление добавочного резистора R_1 должно быть около 200 кОм, а для предела 10 В — около 2 МОм. Тогда и на этих пределах измерений относительное входное сопротивление будет таким же (около 200 кОм/В), т. е. в 20 раз больше, чем у вольтметра без транзисторного усилителя.

Погрешность измерений вольметра с однотранзисторным усилителем сильно возрастает при изменении напряжения питания. Поэтому перед измерениями обязательно приходится проверять напряжение элемента, питающего коллекторную цепь транзистора. Для этого переключатель B_2 переводят в положение *Б* и контролируют напряжение элемента непосредственно измерительным прибором *ИП*, который в этом случае работает как обычный вольтметр постоянного тока с добавочным резистором R_4. Если напряжение элемента в пределах нормы (на шкале вольтметра риской должно быть отмечено нормальное для работы вольтметра напряжение питания), то переключатель B_2 переводят в прежнее положение *И*, а затем, замкнув контакты переключателя B_1 (положение *К*), вольтметр калибруют. При этом элемент оказывается подключенным ко входу электронного вольтметра и прибор должен показывать точно такое же напряжение, как и при измерении напряжения питания. При необходимости совпадения показаний прибора добиваются с помощью подстроечного резистора R_3, после чего контакты переключателя B_1 размыкают — и вольтметр готов к измерениям.

Калибруют транзисторные вольтметры так же, как магнитоэлектрические. Однако для уменьшения погрешности транзисторный вольтметр надо «прогревать», включив питание за 10—15 мин до начала измерений, чтобы установился тепловой режим работы транзисторов. Признаком готовности вольтметра к измерениям будет стабильное положение стрелки близ нулевой отметки шкалы.

Вольтметром с однотранзисторным усилителем, собранным по схеме, показанной на рис. 10, можно производить измерения постоянных напряжений в цепях транзисторной и ламповой аппаратуры, почти не влияя на режимы ее работы. Но у такого вольтметра есть недостатки. Наиболее существенными из них являются: дрейф нуля (стрелка микроамперметра уходит с нулевой отметки шкалы), вызываемый изменениями обратного тока коллектора $I_{к0}$ при изменении температуры окружающей среды, и неравномерность первой трети шкалы, вызываемая начальным током коллектора $I_{к.н}$ и нелинейностью вольт-амперной характеристики эмиттерного перехода. Эти недостатки можно значительно ослабить, используя усилитель на двух транзисторах, включенных по так называемой балансной схеме.

Упрощенная схема, поясняющая принцип работы такого вольтметра, изображена на рис. 11. Сопротивления участков эмиттер—коллектор транзисторов T_1 и T_2 и резисторы R_1 и R_2 образуют плечи так называемого измерительного моста (см. стр. 19—22). В одну из его

диагоналей подается напряжение питания $U_{пит}$, в другую включен микроамперметр *ИП*.

При подаче измеряемого напряжения в полярности, указанной на схеме, в цепи, состоящей из добавочного резистора $R_д$ и сопротивлений эмиттерных *p-n* переходов транзисторов, возникает ток, определяемый в основном сопротивлением добавочного резистора. На транзисторы этот ток воздействует неодинаково: транзистор T_1 он несколько закрывает, а транзистор T_2, наоборот, открывает. В результате коллекторный ток транзистора T_1 уменьшается, что приводит к увеличению сопротивления его участка эмиттер — коллектор, а ток транзистора T_2 увеличивается, вызывая соответствующее уменьшение сопротивления участка эмиттер — коллектор этого транзистора. Таким образом, равновесие моста нарушается и через микроамперметр *ИП* течет ток, пропорциональный измеряемому напряжению. Шкалу такого вольтметра можно отградуировать непосредственно в вольтах измеряемого напряжения, а число пределов

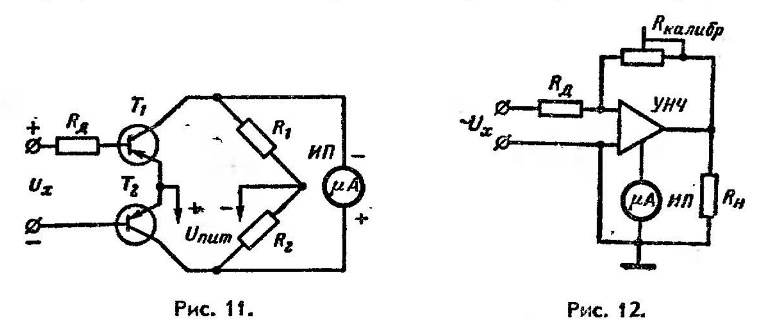


Рис. 11. Рис. 12.

измерений зависит от числа добавочных резисторов, которые будут включены в цепь базы транзистора T_1. Именно такой вольтметр постоянного тока мы и рекомендуем для радиолюбительской измерительной лаборатории.

В вольтметрах переменного тока, необходимых при налаживании, проверке и ремонте различной усилительной и приемной радиоаппаратуры, также применяют электронные усилители, позволяющие повысить входное сопротивление вольтметра и его чувствительность. Электронные вольтметры переменного тока строят в основном по двум схемам. Первую из них называют условно схемой «усилитель — детектор», вторую — «детектор — усилитель». В приборах, построенных по первой схеме, измеряемое напряжение сначала усиливается, затем выпрямляется, по второй, наоборот, сначала выпрямляется, а затем усиливается. Измерителем выпрямленного напряжения в обоих случаях является прибор магнитоэлектрической системы.

Для измерения напряжений относительно низкой, например звуковой, частоты можно использовать и электронные вольтметры, построенные на базе обычного усилителя низкой частоты (УНЧ) с двухтактным выходом. Структурная схема одного из таких вольтметров показана на рис. 12. Измеряемое напряжение U_x через добавочный резистор $R_д$ подается на вход *УНЧ*, нагруженного на резистор $R_н$, и усиливается им. Измерительный прибор *ИП* включен

в цепь питания оконечного каскада. Поскольку ток этого каскада прямо пропорционален входному сигналу, то по показаниям прибора *ИП* можно судить о значении входного напряжения. Калибровка такого вольтметра осуществляется изменением глубины отрицательной обратной связи с помощью подстроечного резистора $R_{калибр}$. Эта обратная связь, кроме того, расширяет рабочий диапазон частот прибора, повышает стабильность его работы и линеаризует шкалу. Транзисторный вольтметр переменного тока, описываемый в книге (гл. 4), собран по аналогичной структурной схеме.

Измерение сопротивлений

Для измерения сопротивлений резисторов, участков цепей, активных сопротивлений обмоток трансформаторов и т. д. пользуются омметрами. Схема простейшего однопредельного омметра показана на рис. 13, *а*. Она напоминает схему вольтметра постоянного тока. Суммарное сопротивление резисторов $R_д$ и R_0 выбрано таким, чтобы при $R_x = 0$, т. е. при замкнутых накоротко зажимах R_x стрелка прибора отклонялась на всю шкалу. Резистором R_0, называемым резистором установки нуля, компенсируют уменьшение напряжения разряжающегося источника питания. С его помощью стрелку прибора устанавливают точно на последнее деление, шкалы, т. е. на нуль шкалы омметра. Делают это при замкнутых накоротко зажимах R_x.

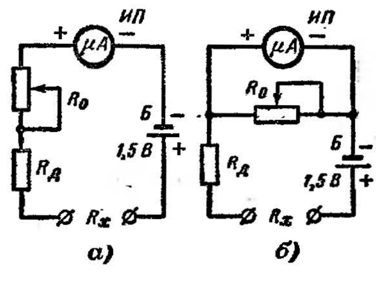


Рис. 13.

Если к зажимам R_x присоединить резистор, то отклонение стрелки прибора, естественно, уменьшится, так как общее сопротивление цепи, в которую включен прибор магнитоэлектрической системы *ИП*, увеличится, и чем больше будет R_x, тем меньше угол отклонения стрелки. Наконец, при каком-то достаточно большом R_x стрелка прибора вообще не отклонится (точнее, незначительно отклонится), указывая бесконечно большое сопротивление (∞). Таким образом, шкала омметра обратная: у нее 0 — справа, а ∞ — слева. Она, кроме того, нелинейная — по мере приближения к ∞ цена делений резко увеличивается. Именно поэтому шкалы сопротивлений в омметрах и авометрах делают самостоятельными.

Основным параметром омметра является его входное сопротивление $R_{вх}$, т. е. сопротивление между входными зажимами R_x, Оно слагается из сопротивлений рамки прибора и добавочных резисторов. Так, если в омметре, собранном по схеме, показанной на рис. 13, *а*, использован микроамперметр с параметрами $I_и = 100$ мкА и $R_и = 1000$ Ом, то при напряжении источника питания 1,5 В и сопротивлении резисторов R_0 и $R_д$ 14 кОм входное сопротивление $R_{вх}$ составит 15 кОм. От входного сопротивления зависит диапазон сопротивлений, которые можно измерять данным омметром.

В связи с тем, что крайние участки шкалы омметра дают значительные погрешности, при измерениях пользуются в основном средней, сравнительно равномерной частью шкалы. За наименьший (нижний) предел измерений обычно принимают сопротивление, соответствующее 1/10 $R_{вх}$ за наибольший (верхний) предел — 10 $R_{вх}$. Так, например, если $R_{вх}$ омметра равно 15 кОм, диапазон измеряемых им сопротивлений будет примерно от 1,5 до 150 кОм.

Шкалу омметра можно проградуировать по образцовым резисторам или магазину сопротивлений. Однако шкалу можно градуировать и расчетным путем. В самом деле, при $R_x=0$ через прибор *ИП* протекает ток $I_и=U_0/R_{вх}$, где U_0 — напряжение источника питания омметра. Как только к входным зажимам омметра будет подключено измеряемое сопротивление R_x, ток I_x через прибор уменьшится:

$$I_x=\frac{U_0}{R_{вх}+R_x}.$$

При бесконечно большом R_x, т. е. при разрыве измерительной цепи омметра, ток $I_x=0$. Понятие «бесконечно большое» R_x имеет относительный смысл и зависит от сопротивления добавочного резистора $R_д$, т. е. от предела, на котором производят измерения. Отношение токов I_x и $I_и$ можно определить по формуле

$$\frac{I_x}{I_и}=\frac{\dfrac{U_0}{R_{вх}+R_x}}{\dfrac{U_0}{R_{вх}}}=\frac{R_{вх}}{R_{вх}+R_x}=\frac{1}{1+\dfrac{R_x}{R_{вх}}}.$$

Произведя вычисления по этой формуле, нетрудно убедиться, что при $R_x=R_{вх}$ ток $I_x=0{,}5\ I_и$, а стрелка прибора устанавливается в середине шкалы.

Цену промежуточных делений шкалы омметра вычисляют следующим образом. Задаются значением R_x и по приведенной формуле вычисляют соответствующее ему отношение токов $I_x/I_и$. Затем это отношение токов умножают на общее число делений шкалы микроамперметра, которую принимают за эталон, и тем самым определяют то деление, против которого надо поставить заданное значение R_x. Например, при $R_x=2R_{вх}$ отношение $I_x/I_и=0{,}333$. Если шкала прибора имеет 100 делений, то против деления $0{,}333\cdot100=$ $=33{,}3$ наносят отметку *2* шкалы сопротивлений. Числовое значение этой отметки в омах или килоомах зависит от $R_{вх}$ омметра (в основном от сопротивления добавочного резистора). Например, если $R_{вх}=100$ Ом, то точка 33,3 шкалы будет соответствовать значению $R_x=200$ Ом; если $R_{вх}=1000$ Ом, то $R_x=2000$ Ом и т. д. По известному $R_{вх}$ омметра можно рассчитать ток и начертить шкалу для измерения R_x в интервале от 0,1—0,3 до 8—10 $R_{вх}$.

Недостатком омметра, собранного по схеме, показанной на рис. 13, *а*, является зависимость его входного сопротивления, а следовательно, и градуировки шкалы от напряжения источника питания, что увеличивает погрешность измерений при разряде батареи.

Схема более совершенного омметра приведена на рис. 13, *б*. Здесь переменный резистор установки нуля R_0 включен параллельно измерительному прибору. Его сопротивление рассчитывают так, что-

бы при минимальном напряжении источника питания (его выбирают в 1,5—2 раза меньше начального напряжения батареи) и полностью введенном резисторе R_0 через прибор *ИП* протекал ток $I_и$. Тогда при работе от свежих батарей стрелку прибора устанавливают на нуль уменьшением сопротивления R_0, а по мере ее разряда — его увеличением. Изменение сопротивления R_0 и в этом случае влияет на входное сопротивление омметра и его градуировку, но это влияние обычно в несколько раз меньше, чем в омметре, выполненном по схеме, приведенной на рис. 13, *а*.

Чтобы изменить пределы измерений, нужно выбрать другие значения $R_{вх}$ и U_0 омметра. В этом случае поступают так же, как при конструировании многопредельного вольтметра: включают такие добавочные резисторы, чтобы $R_{вх}$ каждого предела измерений было в 10 раз больше предыдущего. При этом, разумеется, увеличивают и напряжение U_0. Градуировка шкалы сопротивлений сохраняется неизменной, только ее показания умножают соответственно на 10, 100 и т. д.

Для измерения электрических сопротивлений широко используют также измерительные мосты.

Простейший измерительный мост постоянного тока (рис. 14) представляет собой электрическую цепь, состоящую из резисторов R_1— R_4, называемых плечами моста. Диагональ *А — В* называют измерительной, а *Г — Б* — диагональю питания. Измерительный мост будет электрически сбалансированным, или уравновешенным, когда через измерительный прибор *ИП*, роль которого выполняет микроамперметр, ток не протекает. Это может быть лишь в том случае, если произведения сопротивлений противоположных плеч моста попарно равны, т. е. $R_2R_4=R_1R_3$. При этом разность напряжений между точками *А* и *В* равна нулю и ток I_1 протекает только через резисторы R_4 и R_1, а I_2— только через резисторы R_3 и R_2.

Вместо одного из резисторов моста, например вместо резистора R_4, можно включить неизвестное сопротивление R_x (на рис. 14 показано штриховыми линиями). И если это сопротивление не равно сопротивлению резистора R_4, мост разбалансируется и через измерительную диагональ *А — В* потечет ток, который вызовет отклонение стрелки микроамперметра. Чтобы мост сбалансировать, надо так подобрать сопротивления резисторов R_1, R_2 и R_3, чтобы равенство $R_xR_2=R_1R_3$ восстановилось. Неизвестное сопротивление R_x определяют по формуле

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}.$$

Резисторы R_2 и R_3 в данном случае называют плечами отношения, а резистор R_1 — плечом сравнения.

Плечо сравнения R_1 измерительного моста делают переменным и на его шкале отмечают значения R_x в относительных единицах, т. е. в единицах отношения R_3/R_2. При $R_3/R_2=1$ отсчет по шкале плеча сравнения R_1 будет соответствовать значению сопротивления R_x.

Чтобы измерить неизвестное сопротивление R_x — большее, чем максимальное сопротивление резистора R_1, надо изменить отношение R_3/R_2, например, в 10 раз. Тогда можно будет измерять сопротивления R_x в 10 раз большие, чем сопротивление резистора R_1, и пользоваться той же шкалой, только отсчеты со шкалы умножать на 10. Если отношение $R_3/R_2=100$, то отсчеты шкалы надо умножать на

100 и т. д. Таким образом, схема моста для измерения сопротивлений принимает вид, показанный на рис. 15. Диапазон сопротивлений R_x, измеряемых при помощи подобного моста, может быть от долей ома до нескольких мегаом.

Точность измерения сопротивлений мостовым методом может быть очень высокой — до десятых долей процента измеряемого сопротивления. Но для этого необходима и высокая точность подбора резисторов моста. Поэтому в высокоточных (прецизионных) мос-

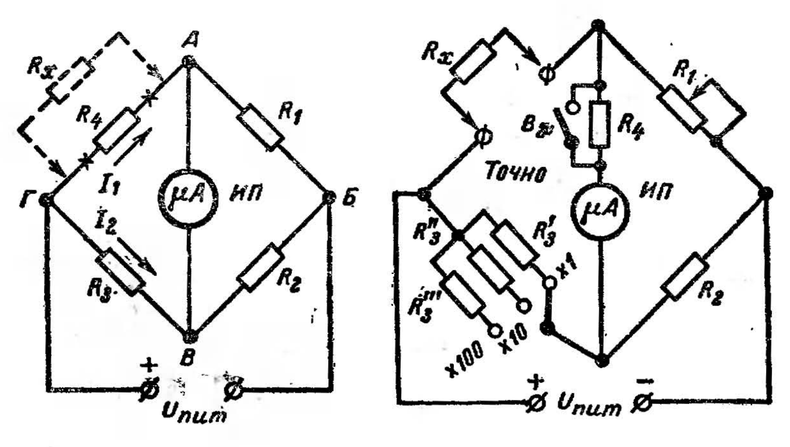


Рис. 14.

Рис. 15.

тах в качестве плеч сравнения применяют не переменные резисторы, а высокостабильные магазины сопротивлений. Что же касается подбора резисторов R_2 и $R_3' - R_3'''$, то с особой точностью выдерживают их отношение, равное 1, 10 , 100 и т. д., так как от этого зависит точность отсчета.

Чем больше напряжение питания моста, тем больше ток при разбалансе. Поэтому, если чувствительность измерительного прибора сравнительно невелика, этот недостаток можно скомпенсировать увеличением напряжения питания. Но тогда при большом разбалансе моста ток в измерительной диагонали становится значительным и может повредить микроамперметр. Чтобы этого не случилось, в измерительную диагональ последовательно с микроамперметром включают резистор R_4. Когда только начинают подбирать сопротивления плеч моста, разбаланс велик и этот резистор ограничивает ток через измерительный прибор, как бы «загрубляя» его. Когда же сопротивления плеч примерно подобраны и переходят к точной балансировке моста, то этот резистор замыкают выключателем B_2 *Точно*.

Измерителем тока, являющимся индикатором баланса моста, может быть микроамперметр на 100—200 мкА. Очень удобно, если у него нуль находится в середине шкалы. Тогда, сделав на ней соответствующие надписи, легко будет ориентироваться, в какую сторону надо изменять сопротивление переменного резистора R_1 или отношение R_3/R_2.

В радиолюбительской практике наиболее распространены так называемые реохордные мосты. Схема такого моста показана на рис. 16. В нем плечи отношений R_1 и R_2 объединены в один переменный резистор — реохорд, движок которого механически связан со шкалой. Измеряемое сопротивление R_x определяется по формуле

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} \text{ или } R_x = R_3 \frac{l_1}{l_2}.$$

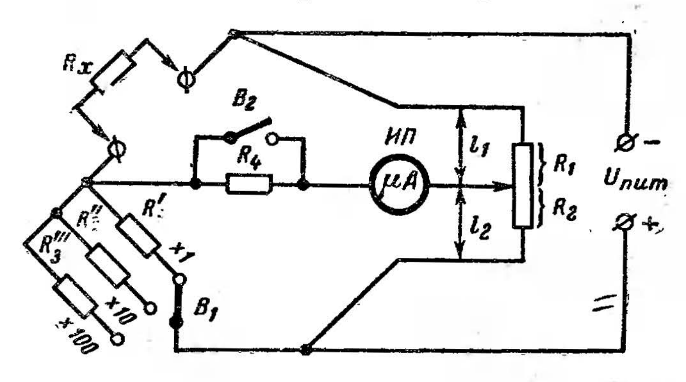


Рис. 16.

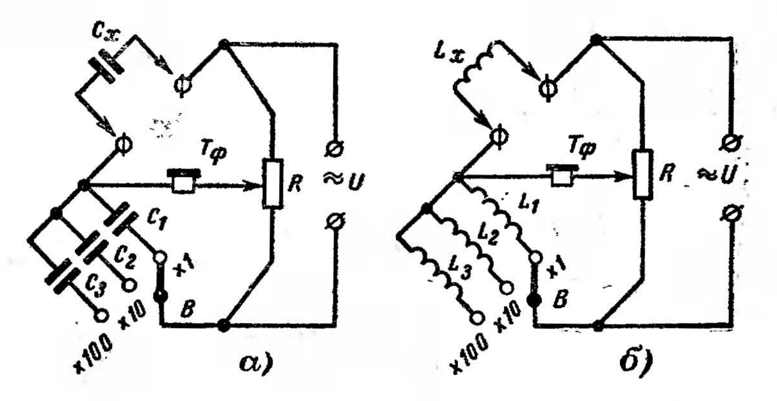


Рис. 17.

Шкала переменного резистора имеет отметки *0* и ∞, но из-за ее логарифмического характера достаточно точно можно отсчитывать лишь значения сопротивлений (в относительных единицах) в интервале 0,1—10, причем отметка *1* расположена в середине шкалы. Если движок реохорда оказывается в положениях 0—0,1 или 10—∞, то надо переходить на другой предел измерения путем переключения образцовых резисторов R_3'— R_3'''.

В качестве реохордов радиолюбители чаще всего применяют проволочные переменные резисторы сопротивлением несколько сотен ом.

Принципиально так же работает и мост переменного тока, причем его можно использовать не только для измерения сопротивлений, но и емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек колебательных контуров, дросселей, обмоток трансформаторов. Индикатором баланса такого моста должен быть прибор, реагирующий на переменный ток.

Упрощенные схемы реохордных мостов для измерения емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек изображены на рис. 17. Роль реохордов выполняют переменные резисторы R. Конденсаторы C_1—C_3 являются образцовыми конденсаторами C-моста, катушки индуктивности L_1—L_3 — образцовыми катушками L-моста. Мосты питаются напряжением переменного тока $\approx U$, источником которого может быть любой генератор НЧ. Роль индикаторов баланса выполняют головные телефоны *Тф*, включенные в измерительные диагонали мостов. Баланс моста определяется по наименьшей громкости звучания телефонов.

Аналогичные реохордные мосты переменного тока используются в измерителе *RCL* (гл. 6) описываемого комплекта приборов.

Измерение основных параметров транзисторов

Перед сборкой радиоприемника, усилителя низкой частоты для воспроизведения грамзаписи или какого-либо другого транзисторного устройства рекомендуется обязательно проверить транзисторы, используемые в нем. Необходимость в такой проверке возникает из-за значительного разброса параметров транзисторов, что связано со сложной технологией изготовления полупроводниковых приборов.

В любительской практике достаточно знать четыре основных параметра транзистора: обратные токи коллектора ($I_{\text{к0}}$) и эмиттера ($I_{\text{э0}}$), начальный ток коллектора $I_{\text{к.н}}$ и статический коэффициент передачи тока $B_{\text{ст}}$. Схемы измерения основных параметров транзисторов структуры *p-n-p* показаны на рис. 18. Для транзисторов структуры *n-p-n* полярность включения питающей батареи и измерительного прибора следует изменить на обратную.

Обратный ток коллектора $I_{\text{к0}}$ — это неуправляемый ток в цепи коллектор — база, измеренный при заданном обратном напряжении на коллекторе и отключенном эмиттере (рис. 18, *а*). Чем меньше ток $I_{\text{к0}}$, тем выше качество коллекторного перехода и стабильность работы транзистора.

Обратный ток эмиттера $I_{\text{э0}}$ — ток в цепи эмиттер — база, измеренный при заданном обратном напряжении на эмиттере и отключенном коллекторе (рис. 18, *б*). Ток $I_{\text{э0}}$, характеризующий качество эмиттерного перехода, является одной из причин нестабильной работы транзистора. Чем он меньше, тем выше качество эмиттерного перехода.

Начальный ток коллектора $I_{\text{к.н}}$ измеряют при замкнутых между собой выводах эмиттера и базы (или при включении между ними резистора R сопротивлением 500—1000 Ом) и заданном напряжении на коллекторе (рис. 18, *в*). Если параметры $I_{\text{к0}}$ и $I_{\text{э0}}$ говорят о качестве коллекторного и эмиттерного переходов, то параметр $I_{\text{к.н}}$ характеризует качество всего транзистора, так как при его измерении в измерительную цепь включены оба *p-n* перехода транзистора.

И, наконец, статический коэффициент передачи тока $B_{ст}$ характеризует усилительные свойства транзистора. Чем больше $B_{ст}$, тем, естественно, больше и усиление, которое может обеспечить транзистор. Этот параметр измеряют по схеме, показанной на рис. 18, *г*, как отношение тока коллектора к вызвавшему его току базы: $B_{ст} \approx \approx I_к/I_б$. При этом не учитывается обратный ток коллектора, протекающий в его цепи и при отсутствии смещения на базе, и начальный ток $I_{к.н}$, также являющийся частью коллекторного тока.

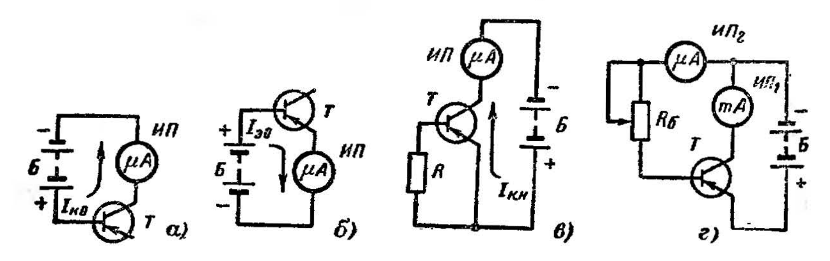


Рис. 18.

Более точные результаты измерения коэффициента $B_{ст}$ можно получить, измеряя токи коллектора $I_{к1}$ и $I_{к2}$, соответствующие двум различным токам базы $I_{б1}$ и $I_{б2}$ ($I_{б2} > I_{б1}$). В этом случае коэффициент $B_{ст}$ рассчитывают по формуле

$$B_{ст} = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{I_{б2} - I_{б1}}.$$

На этом заканчиваем предварительное ознакомление с электрическими измерениями и переходим к описанию приборов радиоизмерительной лаборатории.

Глава вторая

АВОМЕТР

Токи, напряжения и сопротивления радиолюбитель измеряет обычно одним комбинированным прибором — авометром. Такой прибор совмещает в себе амперметр, миллиамперметр, вольтметр и омметр, основы построения которых рассмотрены в предыдущей главе.

Какие виды и пределы измерений должен обеспечивать такой комбинированный прибор для радиолюбительской практики?

Налаживая или ремонтируя радиоаппаратуру, радиолюбителю приходится измерять постоянные и переменные напряжения в пределах от долей вольта до нескольких сотен вольт. Если же речь идет только о транзисторных конструкциях, то в этом случае верхний предел измерений напряжений не превышает, как правило, 20—30 В. Постоянные токи приходится измерять в пределах от долей миллиампера до сотен миллиамперов или даже нескольких ампер, если имеют дело с мощными транзисторами. Измерять переменные токи низкой частоты приходится значительно реже, и обычно только

в ламповой радиоаппаратуре. Поэтому описываемым авометром не предусмотрено измерение переменных токов.

Сопротивления, с измерением которых радиолюбителю приходится сталкиваться, могут быть в пределах от единиц ом до нескольких мегаом.

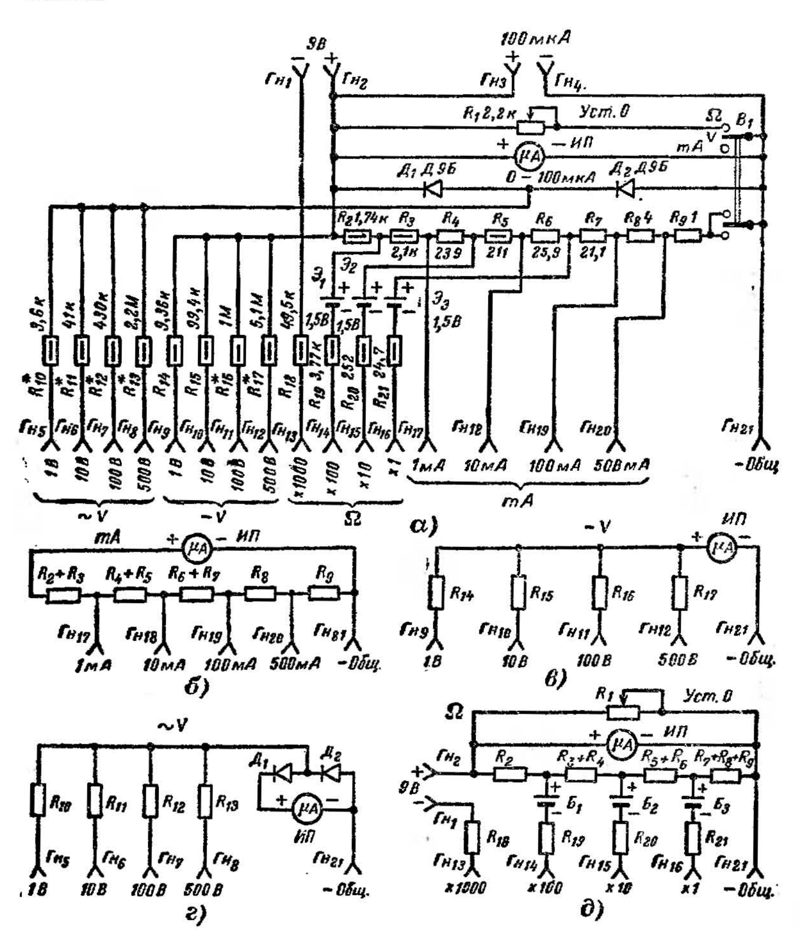


Рис. 19.

Авометром, входящим в комплект измерительной лаборатории радиолюбителя, можно измерять: постоянный ток до 500 мА (пределы измерений: 1, 10 100 и 500 мА), постоянные напряжения до 500 В. (1, 10, 100 и 500 В), переменные напряжения до 500 В (1, 10, 100 и 500 В) и сопротивления от 1 Ом до 5 МОм (пределы измерений: 1 Ом — 5 кОм, 10 Ом — 50 кОм, 100 Ом — 500 кОм и 1 кОм —

5 МОм). Относительное входное сопротивление вольтметра постоянного тока около 10 кОм/В.

Принципиальная схема авометра показана на рис. 19, *а*. Чтобы легче разобраться в работе авометра, отдельно показаны его упрощенные схемы, используемые при измерениях постоянного тока (рис. 19, *б*), постоянных напряжений (рис. 19, *в*), переменных напряжений (рис. 19, *г*) и сопротивлений (рис. 19, *д*).

Измерительным прибором авометра служит микроамперметр *ИП* типа М24 с током $I_и=100$ мкА и сопротивлением рамки $R_и=$ $=645$ Ом. Для микроамперметра с другими значениями $I_и$ и $R_и$ сопротивления резисторов авометра надо, естественно, пересчитать.

При измерении постоянного тока параллельно микроамперметру подключен универсальный шунт, состоящий из резисторов R_2—R_9 с общим (расчетным) сопротивлением 4355 Ом. Отводы от точек соединения резисторов R_2 и R_3, R_4 и R_5, R_6 и R_7 не используются (они нужны при измерении сопротивлений), поэтому на рис. 19, *б* эти элементы шунта заменены резисторами R_2+R_3, R_4+R_5 и R_6+R_7.

При измерении постоянных и переменных напряжений универсальный шунт отключен, что сделано для сохранения высокого входного сопротивления вольтметра. В зависимости от рода и величины измеряемого напряжения последовательно с микроамперметром включается один из добавочных резисторов R_{14}—R_{17} (рис. 19, *в*) или R_{10}—R_{13} (рис. 19, *г*).

Вольтметр переменного тока отличается от вольтметра постоянного тока наличием в нем диодов $Д_1$ и $Д_2$ и сопротивлениями добавочных резисторов, которые, как уже указывалось в гл. 1, меньше сопротивлений соответствующих резисторов вольтметра постоянного тока примерно в 2,22 раза.

Прибор для измерений сопротивлений заметно отличается от простейших омметров, схемы которых были приведены в гл. 1 (см. рис. 13). В этом приборе при измерении сопротивлений параллельно микроамперметру подключается универсальный шунт, состоящий из резисторов R_2, R_3+R_4, R_5+R_6 и $R_7+R_8+R_9$. Сопротивления резисторов шунта и добавочных резисторов R_{18}—R_{21} подобраны так, что входное сопротивление омметра $R_{вх}$ на втором пределе (×*10*) в 10 раз больше $R_{вх}$ первого предела (×*1*), равного 50 Ом, на третьем (×*100*) — в 10 раз больше $R_{вх}$ второго предела, а на четвертом (×*1000*) — в 10 раз больше $R_{вх}$ третьего предела. Роль шунта омметра выполняют резисторы универсального шунта микроамперметра. Но отводы от точек соединения резисторов R_3 и R_4, R_5 и R_6, R_7—R_9 при измерении сопротивлений не используются.

На первых трех пределах омметра (×*1*, ×*10*, ×*100*) к универсальному шунту подключены цепочки, каждая из которых состоит из одного элемента 332 ($Э_1$, $Э_2$ или $Э_3$) и резистора (R_{19}, R_{20} или R_{21}). Для измерений на четвертом пределе (×*1000*) к омметру через гнезда $Гн_1$ и $Гн_2$ подключают внешний источник питания напряжением 9 В. Им могут быть две батареи 3336Л, соединенные последовательно, или блок питания, входящий в комплект измерительных приборов.

Вся коммутация в авометре (подключение и отключение универсального шунта, резистора R_1, с помощью которого устанавливают на нуль стрелку прибора при измерении сопротивлений) осуществляется с помощью одного переключателя $В_1$. В положении Ω к микроамперметру подключаются универсальный шунт и резистор R_1, а в положении *mA* — только универсальный шунт. Диоды $Д_1$ и $Д_2$

постоянно подключены к микроамперметру, но поскольку их обратное сопротивление составляет сотни килоом, то они практически не оказывают на него шунтирующего действия. Элементы $Э_1$—$Э_3$ омметра при измерении токов и напряжений не отключаются от шунта, что также сделано с целью упрощения коммутации авометра.

Описываемый авометр — прибор универсальный. И не только потому, что с его помощью можно измерять токи, напряжения и сопротивления, но еще и потому, что его микроамперметр может быть использован в некоторых других измерительных приборах радиолюбительской лаборатории. С этой целью на переднюю панель

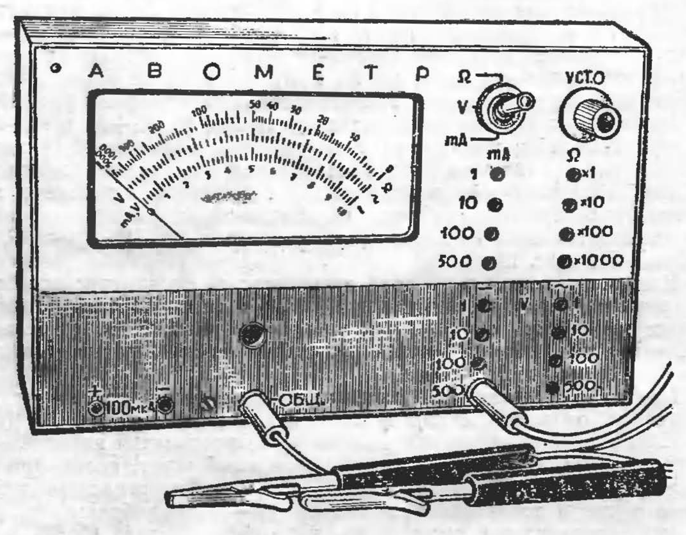


Рис. 20.

авометра выведены гнезда $Гн_3$ и $Гн_4$ (*100 мкА*), соединенные непосредственно с зажимами микроамперметра. Надо только помнить, что при таком использовании микроамперметра переключатель $В_1$ должен находиться в положении *V*.

Конструкция и детали. Общий вид авометра показан на рис. 20, а конструкция его корпуса и размещение в нем деталей — на рис. 21. Несущим элементом конструкции является корпус *2*. На его передней стенке с внутренней стороны закреплен микроамперметр *5*. Корпус микроамперметра имеет спереди выпуклость высотой около 3 мм, поэтому к передней стенке он крепится не непосредственно, а через прокладку *4*. На передней стенке корпуса авометра закреплены также две колодки *15* с гнездами $Гн_5$—$Гн_{20}$, колодка *12* с гнездами $Гн_3$, $Гн_4$ и $Гн_{21}$, переменный резистор R_1 (*Уст. 0*) и переключатель вида измерений $В_1$. Для крепления колодок с гнездами используются винты М3×8 с потайными головками. Уголки *7* и *13* для крепления крышки *6* соединены с корпусом заклепками *8*, а ножки *10* — заклепками *9*.

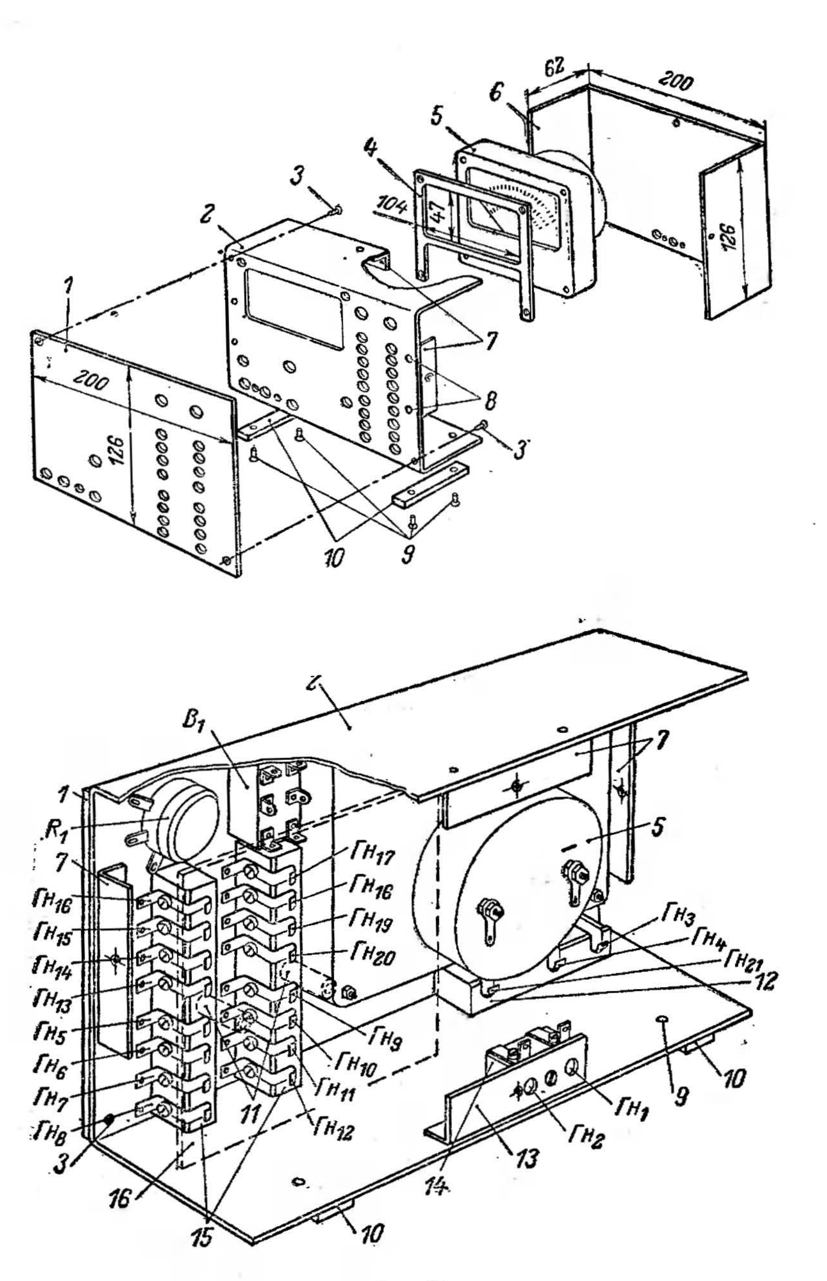

62
200
6
5
4
3
104
47
2
126
1
200
126
7
8
3
10
9
2
B1
7
1
R1
7
5
Гн17
Гн16
Гн19
Гн20
Гн16
Гн15
Гн14
Гн13
Гн5
Гн6
Гн7
Гн8
3
Гн3
Гн4
Гн21
12
Гн9
Гн10
Гн11
Гн12
11
10
9
Гн1
Гн2
13
14
16
15
10

Рис. 21.

Монтажная плата *16* (на рис. 21 показана штриховыми линиями) с резисторами R_2—R_{21} и элементами $Э_1$—$Э_3$ крепится винтами М3×28 с потайными головками. Винты пропущены через пустотелые стойки *11* и ввинчены в средние резьбовые отверстия колодок. Надписи, поясняющие назначение ручек управления и гнезд, сде-

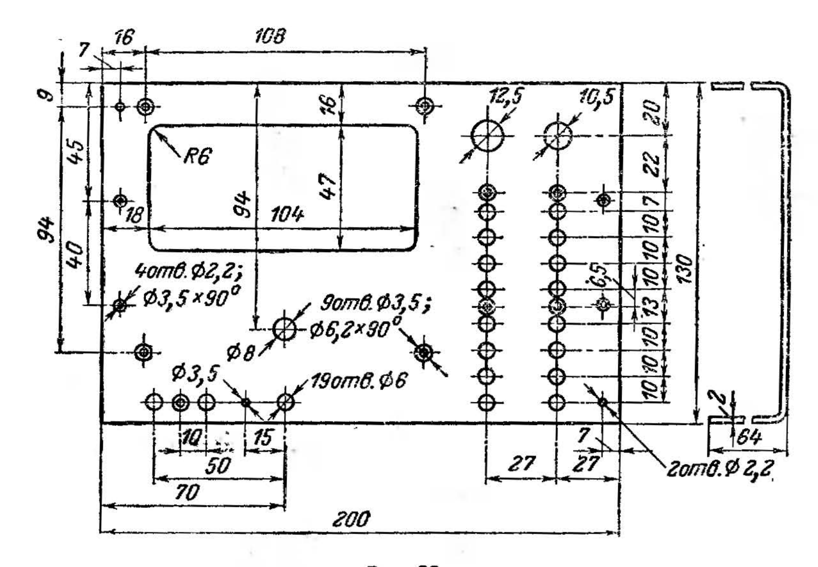


Рис. 22.

ланы на полосах цветной бумаги и прикрыты накладкой *1* из прозрачного органического стекла. Для крепления накладки к корпусу использованы гайки переменного резистора и переключателя, один из винтов крепления колодки *12* и два винта *3* (М2×5), которые завинчиваются с внутренней стороны корпуса. Колодка *14* с гнездами $Гн_1$ и $Гн_2$ укреплена на уголке *13* одним винтом М3×6.

Корпус, крышка и уголки изготовлены из листового алюминиевого сплава Амц-II; пригоден также мягкий дюралюминий. Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 22.

Изготавливая крышку, надо добиться сопряжения ее с корпусом, т. е. так подогнать размеры, чтобы она не выступала за габариты корпуса.

Гнезда являются наиболее ответственными деталями авометра. От тщательности изготовления гнезд во многом зависит надежность работы прибора. Конструктивно все гнезда одинаковы. Для удобства изготовления они объединены в четыре группы, каждая из которых смонтирована на отдельной колодке. Устройство одной из таких групп показано на рис. 23. Каждое гнездо (рис. 23, *а*) образуется отверстием в колодке *15* и контактом *20*, закрепленным на колодке винтом *21*. Форма контакта такова, что его нижняя изогнутая часть наполовину закрывает отверстие под штепсель, поэтому при подключении эта часть контакта поднимается (рис. 23, *б*) и давит на

штепсель, благодаря чему обеспечивается надежный электрический контакт.

Колодки *12*, *14* и *15* (рис. 23, *в*) можно изготовить из листового гетинакса, текстолита, эбонита или органического стекла. Всего для авометра нужны две колодки *15* и по одной колодки *12* и *14*.

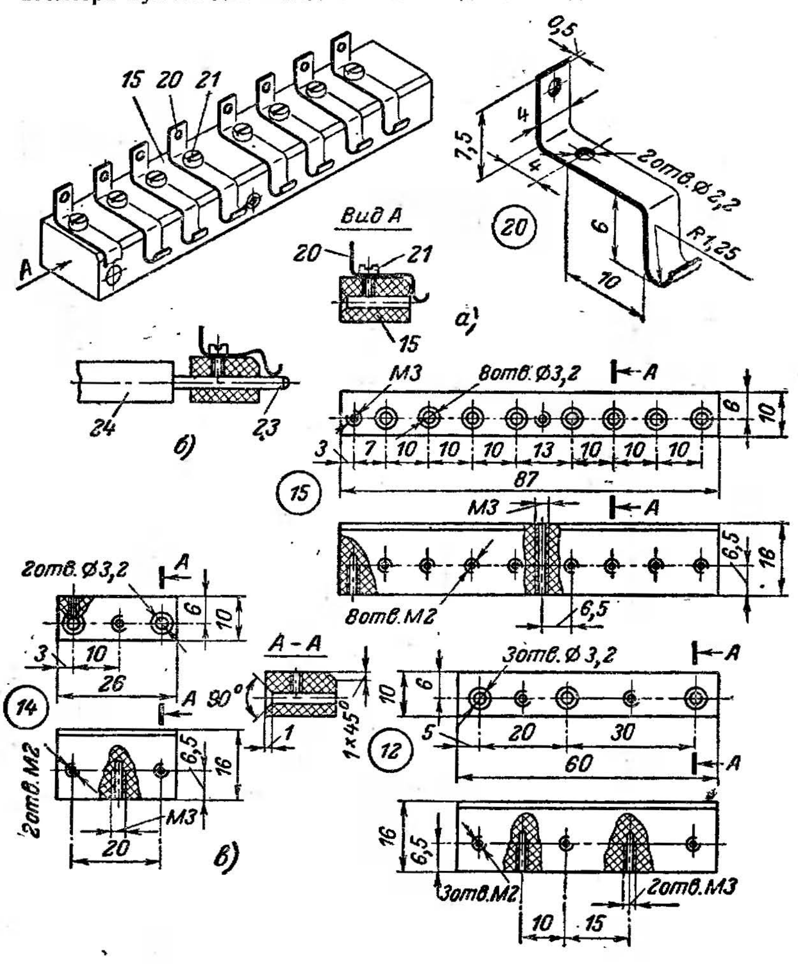


Рис. 23.

Для контактов (их потребуется 21 шт.) надо использовать твердую латунь (например, ЛС59-1) или бронзу толщиной 0,5 мм.

Штепсели *23* и щупы *26* (рис. 24) вытачивают из латунного прутка диаметром 4 мм, а их корпуса *24* и *25* — из текстолита, органического стекла или другого изоляционного материала.

Более подробно о технологии изготовления корпуса, гнезд и других деталей, используемых не только для авометра, говорится в гл. 12.

Все резисторы (кроме R_1), диоды $Д_1$, $Д_2$ и элементы $Э_1$—$Э_3$ смонтированы на плате из листового гетинакса толщиной 2,5—3 мм. Разметка платы и ее монтажная схема показаны на рис. 25. Монтажными стойками *17* служат отрезки медной луженой проволоки диаметром 1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате *16*.

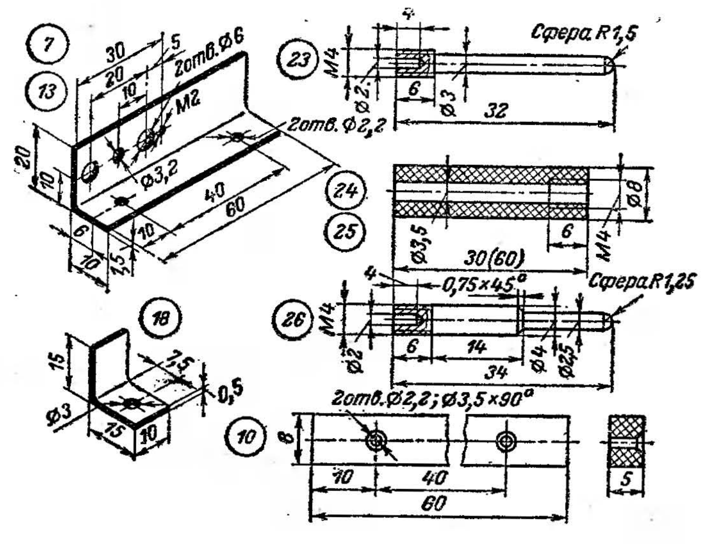


Рис. 24.

Соединения на плате выполнены голым медным проводом диаметром 0,6—0,8 мм. В местах пересечения на проводники надеты линоксиновые или поливинилхлоридные трубки. Соединения платы с другими деталями авометра выполнены многожильным проводом сечением 0,35 мм² в поливинилхлоридной изоляции (МГШВ).

Контакты-держатели *18* элементов $Э_1$—$Э_3$, изготовленные из того же материала, что и контакты гнезд, закреплены на плате пустотелыми заклепками *19*. Стойки *11* (см. рис. 21), создающие необходимый зазор между монтажной платой *16* и гнездовыми колодками *15*, изготовлены из органического стекла (можно из гетинакса или текстолита). Их наружный диаметр равен 6, а длина 20 мм.

Резисторы R_6—R_9 и R_4 универсального шунта выполнены из манганинового провода в эмалевой и шелковой изоляции (ПЭШОМ, ПЭГОМТ). Для резисторов R_6, R_7 и R_4 надо использовать провод диаметром 0,08—0,1 мм, а для резисторов R_8 и R_9 — 0,15—0,2 мм. Пригодны, разумеется, другие высокоомные провода, например из константана. Каркасами служат резисторы МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 200 кОм.

Длину провода, необходимого для получения заданного сопротивления, можно определить с помощью моста для измерения сопро-

тивлений или образцового омметра. Чтобы при калибровке шкалы прибора можно было более точно подобрать сопротивления резисторов, длину их проводов увеличивают на 5—10%.

Резистор R_1 может быть как проволочным, так и непроволочным (например, СП, СПО и т. п.). Важно лишь, чтобы его сопротивление было 2—3 кОм, а габариты не превышали размеров резисторов СП.

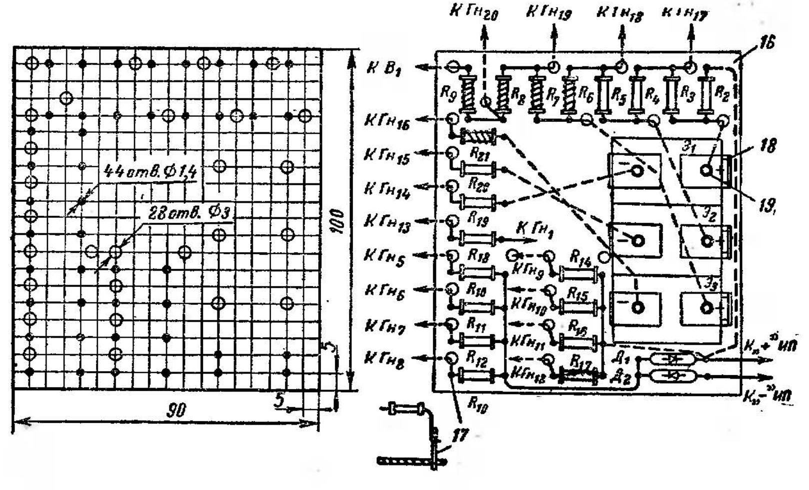


Рис. 25.

Остальные резисторы, примененные в авометре, — типа МЛТ-0,5. Для упрощения налаживания авометра их следует взять с несколько большим (примерно на 10—15%) сопротивлением, чем указано на принципиальной схеме. Тогда при калибровке легко подобрать нужное сопротнвление, подключая параллельно им резисторы сопротивлением в 7—10 раз бо́льшим. Можно поступить и по-другому. Каждый отдельный резистор заменить двумя-тремя соединенными последовательно и при калибровке подбирать резвсторы с меньшим сопротивлением. Так, например, резистор R_2 можно составить из двух резисторов сопротивлением 1,5 кОм и 240 Ом, резистор R_3 — из резисторов сопротивлением 2 кОм и 110 Ом, R_{14} — из резисторов сопротивлением 9,1 кОм и 270 Ом и т. д.

Переключатель вида измерений B_1 — тумблер на три положеиия и два направления. Можно использовать любой другой переключатель, обеспечивающий необходимую коммутацию, например галетный, но в этом случае придется несколько увеличить размеры авометра.

Градуировка. Полностью смонтировав авометр, проверяют правильность всех соединений и только после этого приступают к градуировке его шкал. Градуировку начинают с калибровки шкалы постоянных токов по схеме, показанной на рис. 26, *а*. Здесь *Б* — батарея, составленная из трех элементов 373, $ИП_г$ — градуируемый миллиамперметр, $ИП_о$ — образцовый прибор, например промышлен-

ный миллиамперметр класса 0,2—0,5 или авометр в режиме измерения токов, $R_а$ — проволочный переменный резистор сопротивлением 50—100 Ом, $R_б$ — резистор СП сопротивлением 5—10 кОм, B — выключатель любого типа. Резистор $R_а$ полностью вводят (движок в верхнем, по схеме, положении), а $R_б$ — выводят. Переключатель B_1 авометра устанавливают в положение *mA*, штепсели соединительных проводников вставляют в гнезда *Общ.* и *500 мА*. Затем, плавно изменяя сопротивление резистора $R_а$, устанавливают по шкале образцового прибора ток 500 мА и сравнивают его с показанием самодельного миллиамперметра. Если сопротивление резистора R_9 универсального шунта больше расчетного, то стрелка налаживаемого прибора уйдет за последнее деление шкалы. Отматывая провод с резистора R_9 и следя за показаниями образцового прибора, стрелку устаиавливают на последиее деление.

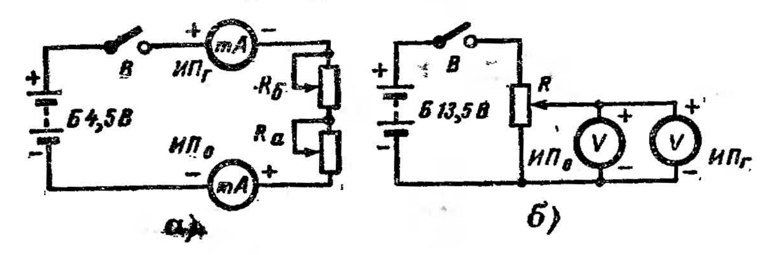


Рис. 26.

После этого питание выключают, снова полностью вводят резистор $R_а$, штепсель соединительного проводника переставляют в гнездо *100 мА* налаживаемого прибора и вновь включают питаиие. Далее, изменяя сопротивление резистора $R_а$, устанавливают стрелку образцового прибора на отметку 100 мА и, подбирая сопротивление резистора R_8, добиваются отклонения стрелки налаживаемого прибора до последнего деления шкалы.

Аналогичным путем шкалу прибора калибруют и на остальных пределах измерения постоянных токов (*10 мА* и *1 мА*). Только при этом подбирают сопротивления резистора R_6 н R_4, а ток в измерительной цепи регулируют резистором $R_б$.

Калибровку прибора надо повторить в таком же порядке, чтобы внести в шунт поправки, компенсирующие изменение сопротивлений резисторов R_9, R_8, R_6 и R_4. При необходимости сопротивления резисторов снова дополнительно подгоняют, чтобы на всех пределах измерений показания налаживаемого и образцового миллиамперметров были одинаковыми.

Шкалу вольтметра постояниых напряжений калибруют по схеме, показаиной на рис. 26, *б*. Здесь *Б* — батарея, составленная из трех последовательно соединенных батарей 3336Л, *R* — переменный резистор сопротивлением 2—3 кОм, *ИПг* — градуируемый вольтметр, *ИПо* — образцовый вольтметр. Переключатель B_1 авометра переводят в положение *V*, а соединительные проводники включают в гиезда — *Общ.* и 1 В. Образцовый вольтметр переключают на такой же или ближайший бо́льший предел измерений, а движок резистора *R* устанавливают в нижнее положение (см. рис. 26, *б*). После этого

включают питание и, плавно изменяя сопротивление резистора R, устанавливают стрелку образцового вольтметра на отметку 1 В. Сопротивление резистора R_{14} градуируемого вольтметра подбирают таким, чтобы стрелка микроамперметра установилась на последнее деление шкалы.

Точно так же калибруют вольтметр и на остальных пределах измерений, подбирая резисторы R_{15} (предел *10 В*), R_{16} (предел *100 В*) и R_{17} (предел *500 В*). На пределах 100 и 500 В вместо батареи включают выпрямитель с соответствующим выходным напряжением, а в измерительную цепь включают переменный резистор сопротивлением 510—680 кОм (вместо 2—3 кОм).

Шкалы постоянного тока и напряжения практически линейны, поэтому шкала микроамперметра, имеющая оцифрованные отметки 0, 10, 20, 30 ... 100, может использоваться при измерении любых постоянных токов и напряжений. Изменяется только цена делений. Так, на пределах 1 и 10 мА (В) отсчеты со шкалы микроамперметра надо делить соответственно на 100 и 10, а на пределе 500 мА (В) — умножать на 5.

Шкалы переменных напряжений нелинейны. Поэтому кроме калибровки последней отметки на каждом пределе измерений приходится дополнительно наносить на шкалу и все оцифровываемые отметки (обычно не более 9).

Измерительная цепь для градуировки шкал переменных напряжений такая же, как на рис. 26, *б*, только вместо батареи или выпрямителя используют автотрансформатор или трансформатор питания с обмотками на 5—10 и 250—500 В, а в качестве образцового прибора — вольтметр переменного тока. Установив штепсель соединительного проводника градуируемого вольтметра в гнездо *1 В*, резистором R устанавливают по шкале образцового вольтметра напряжение 1 В. Затем, подбирая резистор R_{10}, устанавливают стрелку градуируемого прибора на последнее деление шкалы. После этого градуируют шкалу вольтметра, т. е. наносят на нее отдельные штрихи при напряжениях 0,9; 0,8; 0,7 В и т. д., замеренных по образцовому прибору. Если деления шкалы очень неравномерны (по сравнению со шкалой постоянных напряжений), то следует заменить диоды $Д_1$ и $Д_2$, после чего градуировку повторить.

Далее образцовый и градуируемый вольтметры переключают на предел *10 В*, подбирают резистор R_{11} и градуируют шкалу вольтметра через 1 В. Аналогично градуируют и шкалу для предела *100 В* (через 10 В), предварительно подобрав резистор R_{12}.

Если автотрансформатор или повышающая обмотка трансформатора не обеспечивают напряжения 500 В, то градуировать последний предел можно до средней отметки (50 В) шкалы предела *100 В*. Затем, установив по образцовому вольтметру напряжение 250 В и переставив щуп в гнездо *500 В* градуируемого прибора, сопротивление резистора R_{13} подбирают таким, чтобы стрелка отклонилась до отметки 50 В.

Поскольку шкалы разных пределов переменных напряжений практически совпадают и отличаются только ценой делений, то при измерениях можно пользоваться одной шкалой, умножая (или деля) отсчет, снятый по шкале прибора, на определенное число. Так, если на шкалу нанесены отметки от 0 до 10, то при работе на первом пределе (*1 В*) отсчет по шкале прибора надо делить на 10, а на третьем и четвертом пределах — умножать соответственно на 10 и 50.

В последнюю очередь подбором резисторов R_{18}—R_{21} подгоняют входные сопротивления омметра для разных пределов измерения. Переключатель B_1 авометра переводят в положение Ω, штепсели соединительных проводников вставляют в гнезда — *Общ.* и ×*1* и, замкнув щупы между собой, резистором R_1 устанавливают стрелку прибора на нуль. Затем к щупам прибора подключают резистор, сопротивление которого равно входному сопротивлению этого предела измерений (50 Ом). Такой резистор можно составить из двух резисторов сопротивлением 30 и 20 Ом или 39 и 11 Ом, соединенных последовательно. Подбором сопротивления резистора R_{21} стрелку микроамперметра устанавливают точно на середину шкалы.

Аналогично поступают, подгоняя входные сопротивления омметра для остальных пределов измерений. На втором пределе (×*10*) ко входу омметра подключают образцовый резистор сопротивлением 5 кОм, на третьем пределе (×*100*) — резистор сопротивлением 50 кОм, на четвертом (×*1000*) — резистор сопротивлением 500 кОм. На последнем пределе к омметру через гнезда $Гн_1$ и $Гн_2$ необходимо подключать батарею или выпрямитель с выходным напряжением 9 В.

Образцовые резисторы, обеспечивающие заданные входные сопротивления омметра для разных пределов измерения, следует составлять из прецизионных (высокой точности) резисторов или, в крайнем случае, из резисторов с допускаемым отклонением от номинала не более ±5%.

Градуировку шкалы омметра лучше всего произвести расчетным методом, пользуясь формулой, приведенной в гл. 1 (стр. 18). Поскольку шкала общая для всех пределов измерений (изменяется только цена ее делений), градуировку производят на каком-то одном пределе, например первом (×*1*). Диапазон измерений на этом пределе примерно от 5 ($0{,}1R_{вх}$) до 500 ($10R_{вх}$). Считаем, что шкала микроамперметра, используемого в авометре, имеет 100 делений. Задаемся сопротивлением $R_x=5$ Ом. Тогда отношение

$$\frac{I_x}{I_и}=\frac{1}{1+\dfrac{R_x}{R_{вх}}}=\frac{1}{1+\dfrac{5}{50}}\approx 0{,}9.$$

Следовательно, отклонение стрелки прибора до 90-го деления шкалы будет соответствовать сопротивлению $R_x=5$ Ом.

Точно так же рассчитывают отметки на шкале, соответствующие измеряемым сопротивлениям 10, 20, 30 и т. д. до 100 Ом, а затем через каждые 100 Ом до 500 Ом. Участки между отметками делят на несколько частей, что облегчает отсчет промежуточных значений измеряемых сопротивлений. Отметка сопротивления, равного $R_{вх}$ данного предела измерений, будет точно посередине шкалы.

Шкалу омметра, входные сопротивления которого уже подогнаны, можно также градуировать по образцовым сопротивлениям. Для этого потребуются образцовый омметр или промышленный авометр и переменные резисторы сопротивлением 10—15, 50—100 и 600—800 Ом. Первый из этих резисторов присоединяют к образцовому омметру и устанавливают по его шкале сопротивление 5 Ом. Затем, не изменяя положение ползунка переменного резистора, подключают его к градуируемому авометру и на шкале сопротивлений делают отметку, соответствующую сопротивлению 5 Ом. Далее, ис-

пользуя этот и другие переменные резисторы, точно так же наносят на шкалу отметки, соответствующие сопротивлениям до 500 Ом.

Закончив градуировку авометра, шкалу микроамперметра осторожно снимают и вычерчивают дополнительные шкалы переменных напряжений и сопротивлений, пользуясь отметками, нанесенными при градуировке. Дополнительные отметки между оцифрованными точками шкалы переменных напряжений получают путем деления отрез-

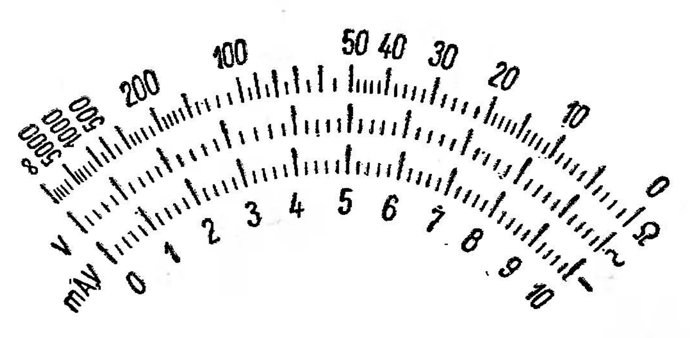


Рис. 27.

ков дуги на равные части. Шкала описанного здесь авометра показана на рис. 27.

Шкалу авометра можно начертить на листке ватмана в увеличенном масштабе, затем фотографическим способом уменьшить ее до необходимых размеров и наклеить на металлическое основание шкалы микроамперметра.

Глава третья

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Транзисторный вольтметр постоянного тока, выполненный в виде приставки к микроамперметру авометра, описанного в гл. 2, имеет шесть пределов измерений постоянных напряжений: 0,5; 1; 5; 10; 50 и 100 В. При правильной регулировке его усилителя и тщательном подборе добавочных резисторов погрешность вольтметра не превышает 5%, что вполне достаточно для любительских измерений. Относительное входное сопротивление вольтметра 100 кОм/В.

Принципиальная схема вольтметра показана на рис. 28. В нем используется балансный усилитель постоянного тока, выполненный на транзисторах T_1 и T_2. Измеряемое напряжение подается на базы обоих транзисторов через один из добавочных резисторов R_1—R_6. Измерительный прибор *ИП*, которым является микроамперметр авометра, включен между коллекторами транзисторов.

Чтобы шкалы разных пределов измерений вольтметра были линейными, транзисторы должны работать на линейном участке вольтамперной характеристики. Для этого на базы транзисторов через резисторы R_8—R_{10} подается небольшое начальное отрицательное на-

пряжение смещения. Баланс моста перед измерениями (установка стрелки микроамперметра на нулевое деление) осуществляется с помощью переменных резисторов R_9 и R_{16}. Первый из них служит для уравнивания базовых, второй — для уравнивания коллекторных токов транзисторов.

Применение в приборе балансного усилителя уменьшает «дрейф нуля» и тем в большей степени, чем меньше разница в значениях $I_{к0}$ используемых в нем транзисторов.

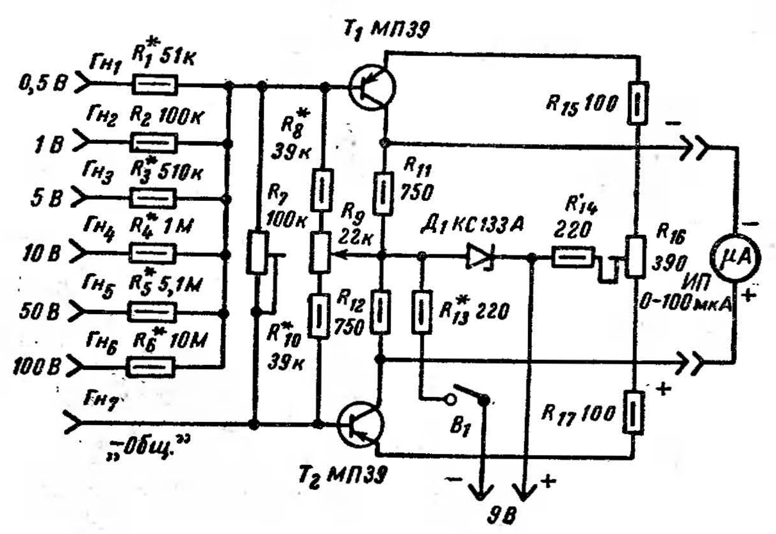


Рис. 28.

Изменение пределов измерений вольтметра осуществляется переключением добавочных резисторов R_1—R_6. Сопротивления этих резисторов подобраны так, чтобы получить полное отклонение стрелки микроамперметра при подаче на вход напряжений, соответствующих пределам измерений. Применение отдельных резисторов для каждого предела упрощает калибровку вольтметра.

Чувствительность балансного усилителя по входу составляет 5—7 мкА при использовании микроамперметра на 100 мкА. Для того чтобы в качестве добавочных можно было использовать стандартные резисторы, чувствительность усилителя с помощью переменного резистора R_7 искусственно уменьшена до 10 мкА.

Питание прибора осуществляется стабилизированным напряжением 9 В, снимаемым с нерегулируемого выхода блока питания. Поскольку для работы вольтметра вполне достаточно напряжения питания 3—3,5 В, введена еще одна ступень стабилизации на кремниевом стабилитроне $Д_1$. Такая двухступенчатая стабилизация питающего напряжения снижает погрешность измерений при значительных колебаниях напряжения электросети.

Для питания вольтметра можно также использовать встроенную в него батарею гальванических элементов или аккумуляторов с на-

пряжением 3—3,5 В, несколько увеличив для этого габариты приставки. Но при этом надо иметь в виду, что по мере разряда батареи погрешность измерений будет увеличиваться.

Конструкция и детали. Общий вид вольтметра (транзисторной приставки) вместе с авометром и блоком питания показан на рис. 29. Несущим элементом конструкции приставки является корпус *1* (рис. 30), изготовленный из листового алюминиевого сплава АМцА-П толщиной 1 мм. Из такого же материала выполнена и

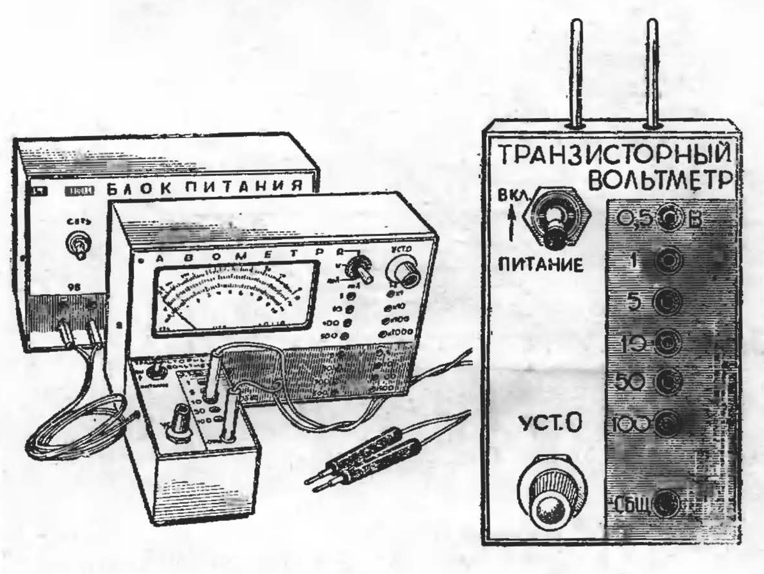


Рис. 29.

крышка *2* корпуса. Крышка соединяется с корпусом при помощи винтов *М2* с потайными головками. Этими же винтами к крышке крепится пластина *3*, выполняющая роль приборных ножек и обеспечивающая необходимое расстояние между штепселями, соединяющими приставку с авометром, и плоскостью стола. Пластину можно выполнить из любого листового изоляционного материала толщиной 3,5—4 мм.

Штепсельную колодку *5* можно изготовить из гетинакса или текстолита толщиной 2—3 мм, а сами штепсели *4* — из отрезков латунного прутка диаметром *3* и длиной 30—32 мм с резьбой М3 на конце. Штепсели ввинчивают в резьбовые отверстия в колодке и окончательно закрепляют гайками *6*. Предварительно под гайки подкладывают монтажные лепестки *7*. Колодку крепят к корпусу винтами М2×6 с потайными головками.

Монтаж деталей в корпусе приставки показан (с двух сторон) на рис. 31. На лицевой панели (на рис. 31 она обращена вниз) закреплены переменный резистор R_9 (*Уст. 0*), выключатель питания B_1, колодка с гнездами $Гн_1$—$Гн_7$ и двухпроводный шнур, оканчива-

ющийся штепселями для подключения к блоку питания. На боковой стенке корпуса расположена штепсельная колодка для подключения приставки к микроамперметру авометра.

На рис. 32 показано устройство колодки с гнездами $Гн_1 — Гн_7$. Контакты *4* закреплены на колодке *6* винтами *5*. Колодка *6* закреплена винтами *8* (М3×6 с потайной головкой), ввинченными в ее резьбовые отверстия с внешней стороны корпуса *7*. В эти же отвер-

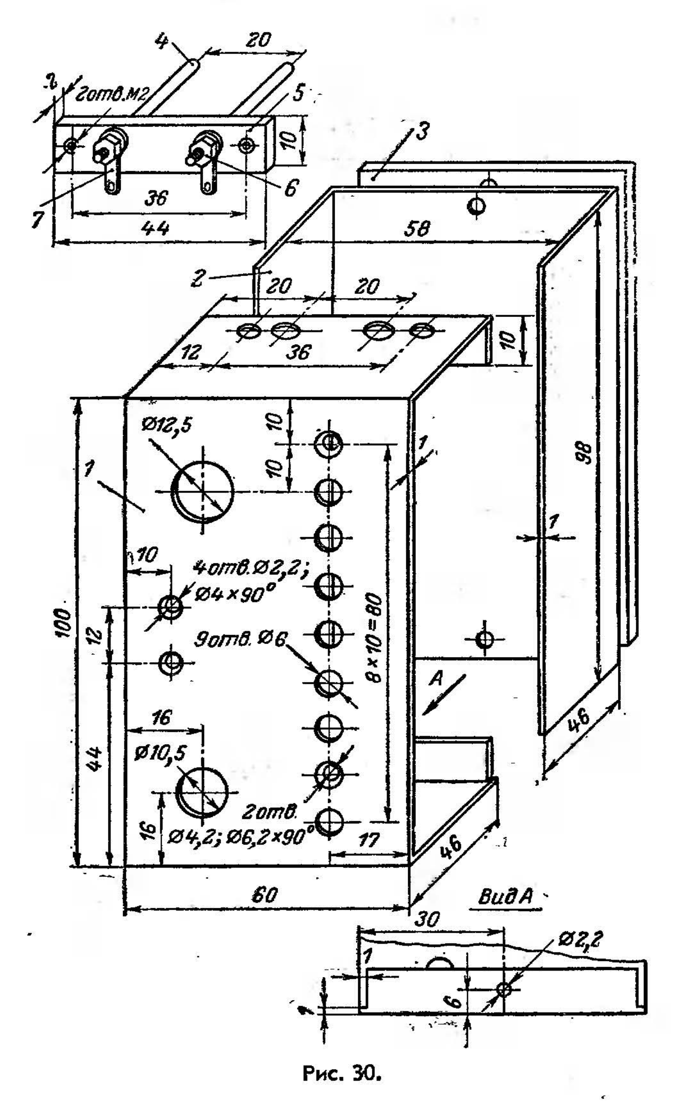
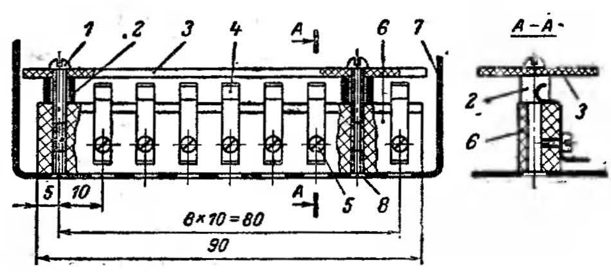


Рис. 30.

R10 T2 R16 R8 R17 R13 R15 R1 R7 R2 Д1 R14
T1 Гн1 Гн2 Гн3 Гн4 Гн5 R3 Гн6 R4 R5 Гн7 R6
Д1 R5 R14 R4 R3 R2 R7 R1 R15 T1 R16 R8 R11
R12
R10
T2
B1
R9
R13 R17

Рис. 31.



1
2
3
4
A
6
7
A – A
2
3
6
5
10
A
5
8
8×10=80
90

Рис. 32.

стия, но с другой стороны, ввинчены винты *1* (М3×12), крепящие монтажную плату *3*. Для создания необходимого зазора между платой и колодкой на винты *1* надеты трубчатые стойки *2* длиной 6 мм. Разметка платы *3* и ее монтажная схема показаны на рис. 33. Монтажная плата изготовлена из листового гетинакса толщиной 2 мм, монтажные стойки — из медной проволоки диаметром 1,5 мм. Все соединения на плате выполнены медным луженым проводом диаметром 0,5 мм. В местах пересечений на проводники надеты отрезки

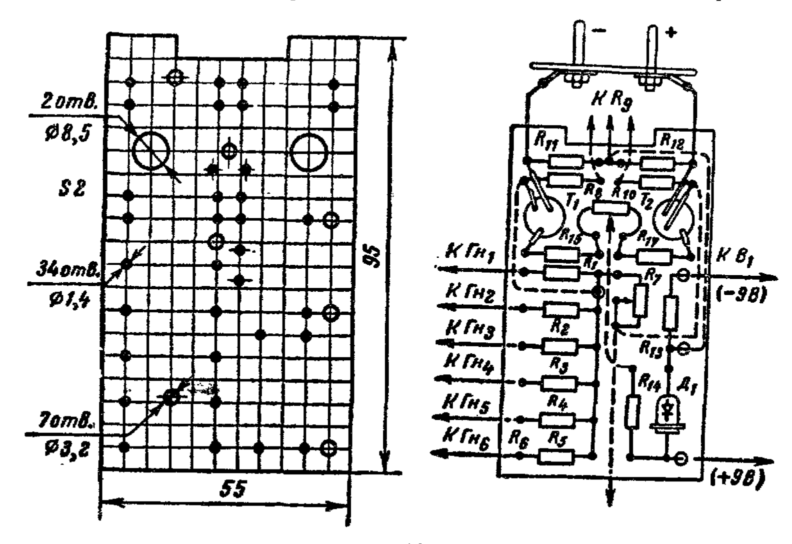


Рис. 33.

поливинилхлоридной трубки. Для соединения монтажной платы с деталями, закрепленными на корпусе, применен гибкий монтажный провод МГШВ сечением 0,14 мм².

В вольтметре использованы следующие детали: переменные резисторы СП-1 (R_9), СПО-0,5 (R_{16}), СПЗ-1б (R_7); постоянные резисторы МЛТ-0,5, тумблер — ТП1-2 (B_1); транзисторы со статическим коэффициентом передачи тока $B_{ст}=50$ (40—60).

Стабилитрон КС133А можно заменить четырьмя плоскостными кремниевыми диодами (например, Д226Б), включив их последовательно в прямом направлении.

Очень важно, чтобы транзисторы имели одинаковые характеристики прямой передачи тока (зависимость тока коллектора от тока базы) и обратные токи коллекторов $I_{к0}$ не более 2—3 мкА. Для их подбора удобно использовать испытатель транзисторов, входящий в комплект измерительной лаборатории (стр. 48—56) радиолюбителя. Последовательно устанавливая токи базы от 10 до 80—100 мкА (через каждые 5 мкА), фиксируют соответствующие им токи коллекторов и отбирают из числа имеющихся транзисторы с наиболее близкими характеристиками. Обратные токи коллекторов $I_{к0}$ отобранных транзисторов измеряют при температуре 15 и 40° С. Для вольтметра

пригодны транзисторы, у которых этот параметр при указанных температурах отличается не более чем на 10—20%.

Предварительно вольтметр целесообразно собрать и наладить на макетной панели и только после этого перенести детали на монтажную плату прибора.

Налаживание вольтметра начинают с установки тока стабилизации стабилитрона. Для этого проводник, соединяющий резистор R_{14} с движком переменного резистора R_{16}, временно отпаивают, а цепь, состоящую из резистора R_{13} и стабилитрона, через миллиамперметр, рассчитанный на ток 50—100 мА, подключают к выпрямителю. Подбором резистора R_{13} устанавливают ток через стабилитрон 25—30 мА, после чего восстанавливают соединение между резисторами R_{14} и R_{16}.

Далее движки переменных резисторов R_9 и R_{16} устанавливают в среднее положение и, включив питание вольтметра, резистором R_9 устанавливают стрелку микроамперметра на нулевое деление шкалы. Затем базы транзисторов временно соединяют между собой и с помощью резистора R_{16} добиваются отсутствия тока через микроамперметр. После этого проводник, соединяющий базы транзисторов, удаляют и резистором R_9 снова устанавливают стрелку микроамперметра на нулевое деление шкалы. Эти операции необходимо повторить несколько раз, добиваясь, чтобы стрелка микроамперметра оставалась на нулевом делении как при соединенных, так и при разомкнутых базах транзисторов.

Если в усилителе вольтметра применены транзисторы с коэффициентом $B_{ст}=45\div50$, то на этом налаживание прибора заканчивается. В том же случае, когда $B_{ст}$ транзисторов меньше, например 30—40, сопротивления резисторов R_8 и R_{10} необходимо уменьшить до 22—27 кОм.

Калибровка транзисторного вольтметра практически не отличается от описанной в гл. 2 калибровки авометра в режиме измерения постоянных напряжений. Для калибровки вольтметра на первых четырех пределах (0,5; 1; 5 и 10 В) можно использовать блок питания с регулируемым выходным напряжением. Установив по образцовому вольтметру напряжение 1 В, включают соединительные проводники в гнезда *— Общ.* и *1В* калибруемого вольтметра и, вращая ось резистора R_7, устанавливают стрелку микроамперметра на последнее деление шкалы постоянных напряжений.

Калибруя остальные пределы измерений, резистор R_7 больше не трогают, а подбирают соответствующие заданному пределу добавочные резисторы R_1 и $R_3 - R_6$.

Для калибровки пределов 50 и 100 В потребуется источник постоянного тока напряжением 100—110 В. Им может быть выпрямитель любого лампового приемника.

Закончив калибровку, детали переносят с макетной панели на монтажную плату вольтметра. В последнюю очередь подпаивают переменные резисторы R_7 и R_{16}. В полностью собранном приборе проверяют балансировку измерительного моста и калибровку на одном из пределов измерений. Если во время монтажа движки резисторов R_7 и R_{16} случайно сдвинутся, то еще раз балансируют мост и корректируют чувствительность усилителя, после чего оси этих резисторов фиксируют каплями нитрокраски.

Пользуясь вольтметром, время от времени проверяют и при необходимости резистором R_9 корректируют балансировку измерительного моста, устанавливая стрелку микроамперметра на нулевую отметку шкалы.

Глава четвертая

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВОЛЬТМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Этот вольтметр предназначен для измерения среднеквадратических (эффективных) значений напряжений низкочастотиых сигналов синусоидальной формы. Такой прибор особеино необходим при налаживании, ремонте, измерении чувствительности, снятии частотных характеристик различных по назначению усилителей низкой частоты. Конструктивно он выполнен так же, как транзисторный вольтметр постоянного тока, т. е. в виде приставки к авометру. Приставка имеет штепсельную колодку, с помощью которой она через гнезда *100 мкА* соединяется с микроамперметром авометра. При этом переключатель рода измерений авометра должен быть установлен в положение *V*. Питается приставка стабилизированным напряжением 9 В блока питания, входящего в комплект лаборатории.

Вольтметр имеет четыре предела измерений: 0,1; 1; 10 и 100 В. Переход с одного предела измерений иа другой осуществляется перестаиовкой штепселя измерительного щупа в соответствующие гнезда приставки. С достаточной для радиолюбительской практики точностью прибором можно измерять напряжения переменного тока частотой примерно от 20 Гц до 20 кГц. На частотах выше 20 кГц погрешность измерений возрастает.

Относительное входное сопротивление вольтметра на частоте 1 кГц составляет 33 кОм/В. При измерении напряжений переменного тока частотой выше 20 кГц относительное входное сопротивление снижается из-за паразитных входных емкостей.

В основу вольтметра положен двухкаскадный усилитель иизкой частоты с двухтактным бестрансформаторным оконечным каскадом, работающим в режиме класса В. Ток окоиечного каскада такого усилителя прямо пропорционален входному напряжению. Следовательно, по показаниям стрелочного измерительного прибора, включеиного на выходе усилителя, можно судить о значении входного напряжеиия.

Принципиальная схема вольтметра показана на рис. 34. Измеряемое напряжение через одио из гнезд ($Гн_1$ — $Гн_4$) пределов измерений, добавочные резисторы R_1 — R_4 и конденсатор C_1 подается на базу транзистора T_1 первого каскада усилителя.

Добавочные резисторы R_1 — R_4 понижают измеряемое переменное напряжение до 100 мВ. Основное усиление измеряемого иапряжения осуществляется первым каскадом, поэтому для иего следует подобрать транзистор с возможно большим статическим коэффициентом передачи тока $B_{ст}$. В оконечном двухтактном каскаде работают транзисторы T_2 и T_3, гальванически связанные с транзистором T_1 первого каскада. Минимальный ток покоя транзисторов оконечного каскада, соответствующий нулевой отметке шкалы, устанавливают переменным резистором R_8. Нагрузкой усилителя служит резистор R_{11}, подключенный через конденсатор C_3 к эмиттерам траизисторов T_2 и T_3.

В усилитель введены две цепи отрицательной обратиой связи: по переменному и постоянному токам. Первая из них служит для изменения чувствительности (калибровки) усилителя, вторая — для повышения стабильности режимов работы транзисторов.

Обратную связь по переменному току образует цепь, состоящая из конденсатора C_3 и резисторов R_6 и R_5. Глубину ее, а следователь-

но, и чувствительность усилителя изменяют переменным резистором R_6.

Напряжение обратной связи по постоянному току подается на базу транзистора T_1 с эмиттеров транзисторов T_2 и T_3 через резистор R_9. Изменение напряжения на эмиттерах транзисторов T_2 и T_3 сопровождается автоматическим увеличением или уменьшением тока транзистора T_1, что в свою очередь уменьшает или, наоборот, увеличивает напряжение смещения на базах транзисторов T_2 и T_3. В результате режим усилителя по постоянному току поддерживается практически постоянным.

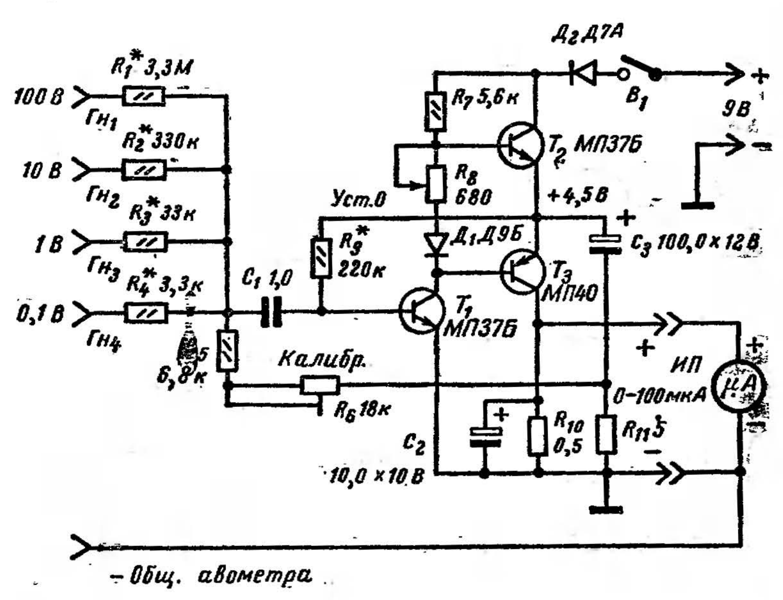


Рис. 34.

Микроамперметр авометра, зашунтированный проволочным резистором R_{10}, включен в коллекторную цепь транзистора T_3. Сопротивление этого шунта подобрано так, чтобы полное отклонение стрелки микроамперметра соответствовало току, равному 10 мА.

Для повышения температурной стабильности работы усилителя в базовую цепь оконечных транзисторов включен диод $Д_1$. Диод $Д_2$ защищает транзисторы на случай подключения к приставке источника питания в неправильной полярности.

Конструкция и детали. Внешний вид вольтметра вместе с авометром и блоком питания показан на рис. 35, а монтаж деталей самой приставки — на рис. 36. Корпус с крышкой и гнездовая колодка выполнены точно так же, как в приставке транзисторного вольтметра постоянного тока (см. рис. 30 и 32). Переменные резисторы R_6 и R_8, выключатель питания B_1, колодка с гнездами $Гн_1$ — $Гн_4$ укреплены непосредственно на верхней стенке корпуса, являющейся лицевой па-

нелью приставки. Гетинаксовая монтажная плата, несущая на себе все остальные детали приставки, крепится к гнездовой колодке с помощью двух винтов *М3*, на которые надеты стойки высотой 6 мм. Все надписи выполнены на плотной бумаге, прикрытой сверху пластинкой листового бесцветного органического стекла толщиной 2 мм.

Шнур с трехмиллиметровыми штепселями служит для подключения приставки к блоку питания.

Разметка отверстий в верхней стенке корпуса и схема соедииений деталей на монтажной плате показаны соответственно на рис. 37, *а* и *б*.

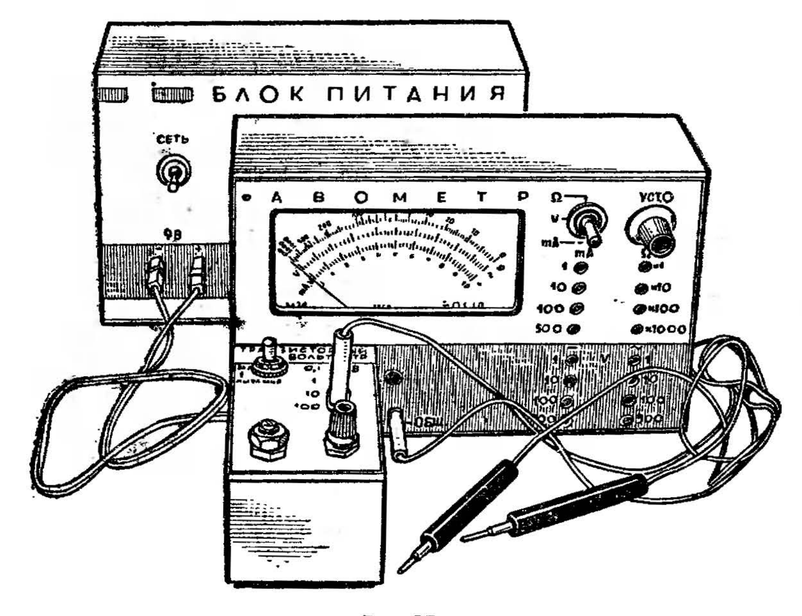


Рис. 35.

Детали, использованные для прибора: постояниые резисторы МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5; из них резисторы R_1 — R_4 должны быть с допуском ±5%; переменные резисторы R_6 и R_8 — типа СП-I группы А; кондеисатор C_1 — типа МБМ, C_2 — типа К50-6, C_3 — чехословацкой фирмы «Тесла». Проволочные резисторы R_{10} и R_{11} (рис. 38) намотаны нихромовым проводом на гетинаксовой пластине размерами 55×10 мм, которую с помощью отрезков медной проволоки монтируют на плате. Вместо германиевого плоскостного диода Д7А ($Д_2$) можно использовать любой другой диод этой серии (Д7Д, Д7В и др.), а вместо диода Д9Б ($Д_1$) — любой точечный диод.

Статистический коэффициент передачи тока $B_{ст}$ транзисторов должен быть ие менее 55. Транзисторы T_2 и T_3 выбнрают с возможно близкими значеннями коэффициентов $B_{ст}$ и наименьшими обратными токами коллекторов $I_{к0}$. Как показали эксперименты, наилучшие результаты можно получить, используя в вольтметре кремниевые тран-

зисторы КТ315Г (T_1 и T_2) и германиевый транзистор П416Б (T_3) с коэффициентом $B_{ст}$ более 100 и токами $I_{к0}$ 1—3 мкА. В этом случае сопротивление резистора R_5 можно уменьшить до 3,9 кОм, а резисторов R_6, R_8 и R_9 — взять соответственно 3,2 кОм; 2,2 кОм и 1 МОм.

Детали вольтметра целесообразно смонтировать сначала на макетной плате, наладить прибор, а затем перенести их на монтажную плату.

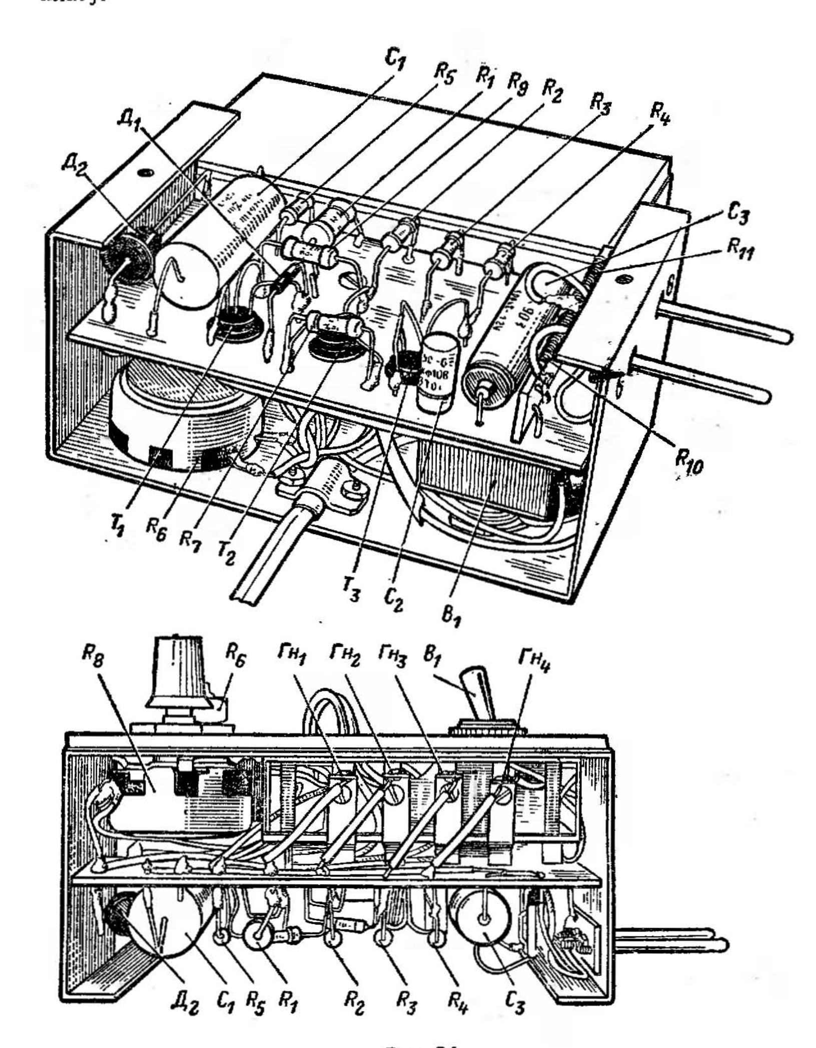


Рис. 36.

Налаживание вольтметра производится покаскадно. Для налаживания первого каскада потребуются две батареи 3336Л, соединенные последовательно (на рис. 39, *а* — батареи $Б_1$ и $Б_2$). Ток коллектора транзистора T_1, равный 0,8 мА, устанавливают подбором резистора R_9. При вращении оси переменного резистора R_8 (*Уст. 0*) ток коллектора должен немного изменяться. Если диод $Д_1$ включен неправильно, тока в коллекторной цепи вообще не будет.

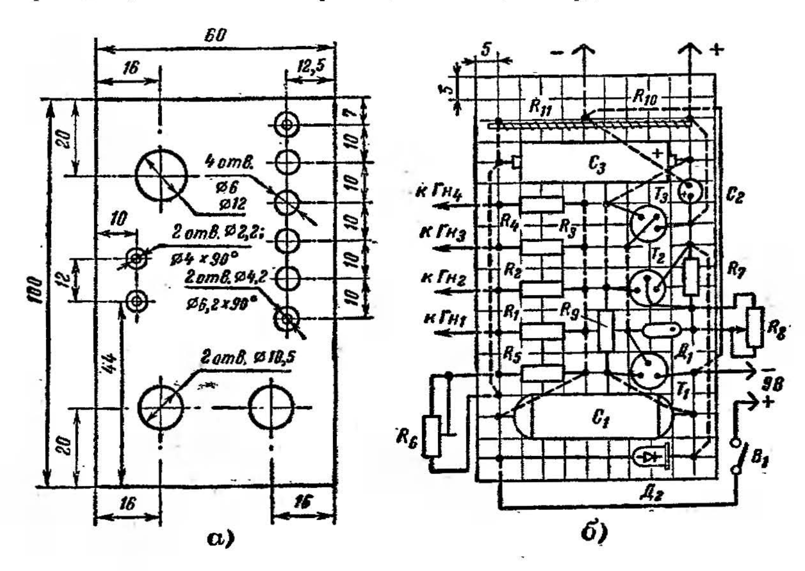


Рис. 37.

Налаживая второй каскад — нижний (рис. 39, *б*), вывод резистора R_8 временно припаивают к эмиттеру транзистора T_2. Источником питания служит одна батарея 3336Л или постоянное напряжение 4,5 В, снимаемое с регулируемого выхода блока питания. Если монтаж выполнен правильно, то при вращении оси резистора R_8 коллекторный ток транзистора T_2 должен изменяться от 0 до 7—10 мА. Если максимальный ток коллектора окажется меньше, увеличить его можно подбором резистора R_7 с меньшим сопротивлением.

Затем налаживают соединенные вместе каскады на транзисторах T_1 и T_3 (рис. 39, *в*). При полностью введенном сопротивлении резистора R_8 (верхнем по схеме положении движка) эмиттерный ток транзистора T_3 должен уменьшаться до нуля. Если этого не происходит, например из-за больших обратных токов коллекторов, то диод $Д_1$ можно удалить. После этого вновь проверяют возможность установки стрелки прибора на нуль.

Далее, восстановив все соединения усилителя, на него через миллиамперметр на ток 10 мА подают постоянное стабилизированное напряжение 9 В и, вращая ось резистора R_3, убеждаются, что ток, потребляемый усилителем от источника питания, изменяется от 1 до 7—10 мА. Затем, установив резистором ток потребления 5—6 мА,

проверяют напряжение в точке соединения эмиттеров транзисторов T_2 и T_3. Оно должно быть равно половиие напряжения источника питания. Подгоняют это напряжение подбором резистора R_9 или R_7.

Для проверки работоспособности усилителя к его входу через конденсатор C_1 можно подключить звукосниматель, а к выходу (вместо резнстора R_{11}) — динамическую головку со звуковой катушкой сопротивлением 4—6 Ом. Воспроизведение грамзаписи должно быть достаточно громким и неискаженным.

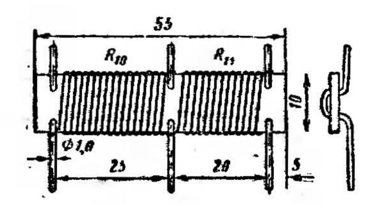


Рис. 38.

а)

б)

в)

Рис. 39.

Калибруют вольтметр по схеме, показанной на рис. 40. Источником переменного напряжения служит электросеть. Перед калибровкой стрелку микроамперметра резистором R_8 (*Уст. 0*) устанавливают на нуль шкалы. К переменному резистору R_2, входящему в делитель R_1R_2 напряжения сети, подключают образцовый вольтметр переменного напряжения $ИП_0$ и калибруемый вольтметр, установленный на предел измерений 100 В. Затем по образцовому вольтметру резистором R_2 устанавлииают калибровочное напряжение $U_{калиб}$, равное 100 В, резистором R_6 (*Калибр.*) стрелку прибора устанавливают на последнее деление шкалы и на лицевой панели вольтметра против шлица на оси резистора R_6 карандашом ставят отметку *100*. Далее переменным резистором R_2 калибровочное напряжение уменьшают ступенями по 10 В (90, 80, 70 В и т. д.) и, контролируя его по образцовому вольтметру, определяют, какая из шкал авометра (~ или —) наиболее точно соответствует входному напряжению

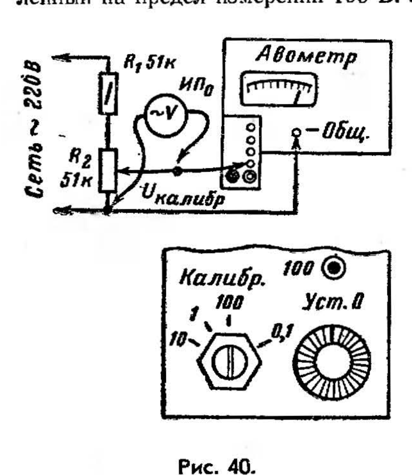


Рис. 40.

Точно так же калибруют остальные пределы измерений, уменьшая с помощью автотрансформатора напряжение на входе делителя. В результате возле оси резистора *Калибр.* появятся четыре отметки. Если они почти сливаются, значит добавочные резисторы R_1—R_4 выбраны точно. Если, наоборот, отметки удалены одна от другой (как показано на рис. 40), то надо так подобрать добавочные резисторы R_2, R_3 и R_4, чтобы шлиц на оси калибровочного резистора все время оставался против одной из средних отметок, например против отметки *100*. На этом калибровку вольтметра заканчивают и ось калибровочного резистора фиксируют в установленном положении.

Пользоваться прибором следует спустя 2—3 мин после включения питания, что необходимо для стабилизации теплового режима работы его элементов. После этого резистором *Уст. 0* стрелку микроамперметра устанаиливают на нулевую отметку шкалы, и вольтметр готов к измерениям.

Время от времени калибровку вольтметра проверяют и, если надо, корректируют.

Глава пятая

ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ

С помощью описываемого здесь прибора можно измерять обратные токи коллектора $I_{КО}$ и эмиттера $I_{ЭО}$, начальный ток коллектора $I_{К.Н}$ и статический коэффициент передачи тока $B_{СТ}$ маломощных транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n*. Его можно также использовать для снятия характеристик прямой передачи тока транзисторов, например при подборе идентичных пар.

Конструктивно прибор выполнен в виде приставки к авометру, так же как транзисторные вольтметры постоянного и переменного токов. Для соединения с микроамперметром авометра приставка снабжена штепсельной колодкой, которую при работе вставляют в гнезда *100 мкА*, расположенные на передней панели авометра. При этом переключатель рода работ авометра должен находиться в положении *V*.

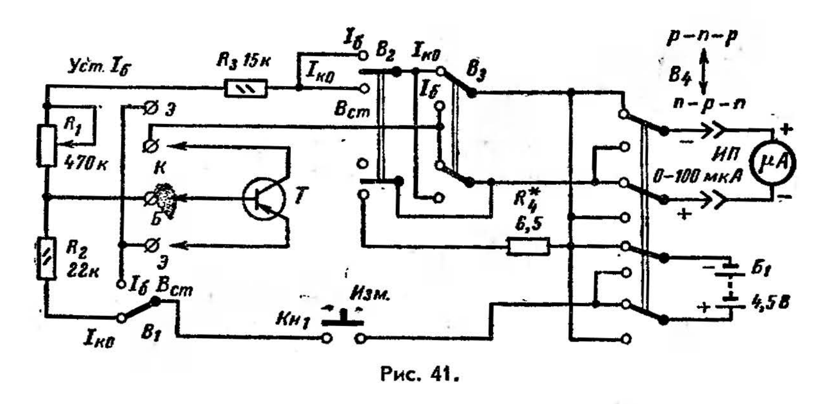


Рис. 41.

Питание прибора осуществляется от встроенной в него батареи напряжением 4,5 В, составленной из трех гальванических элементов 332, соединенных последовательно.

Принципиальная схема испытателя транзисторов показана на рис. 41. Перевод прибора из одного режима измерений в другой производится с помощью переключателей B_1, B_2 и B_3. Переключатель B_1 служит для соединения с источником питания базы проверяемого транзистора (измерения $I_{к0}$, $I_{э0}$) или эмиттера (измерения $I_{к.н}$, $I_б$ и $B_{ст}$), переключатель B_2 — для замыкания или размыкания цепи смещения на базе транзистора, а также для подключения параллельно микроамперметру авометра шунта R_4 (измерение $B_{ст}$). С помощью переключателя B_3 микроамперметр можно включить либо в цепь базы (измерение $I_б$), либо в цепь коллектора (измерения $I_{к0}$, $I_{э0}$, $B_{ст}$). Переключатель B_4 предназначен для изменения полярности включения батареи питания и микроамперметра в зависимости от структуры испытываемого транзистора (*p-n-p* или *n-p-n*). Замыкание измерительной цепи осуществляется с помощью кнопки $Кн_1$. Эта кнопка позволяет при необходимости очень быстро разорвать цепь и тем самым защищает микроамперметр от повреждения при неправильном включении транзистора. Для подключения транзистора к испытателю служат зажимы *Э*, *Б* и *К*.

Схемы измерений параметров транзисторов показаны на рис. 42. При измерении обратного тока коллектора $I_{к0}$ переключатели B_1, B_2 и B_3 должны находиться в положениях, показанных на принципиальной схеме прибора (см. рис. 41), а переключатель B_4 — в положении, соответствующем структуре транзистора. Обратный ток $I_{к0}$ (рис. 42, *а*) измеряют в цепи база — коллектор при разомкнутой цепи эмиттера. Резистор R_2, включенный между базой транзистора и батареей $Б_1$, служит для ограничения тока через микроамперметр

в случае, если коллекторный переход окажется пробитым. У исправных высокочастотных транзисторов ток $I_{к0}$ обычно не превышает 3—5 мкА, а у ннзкочастотных транзисторов — 20—30 мкА.

Для измерения начального тока коллектора $I_{к.н}$ (рис. 42, *б*) эмиттер транзистора с помощью переключателя B_1 соединяют с нсточником питания, а между зажнмамн *Э* и *Б* включают дополнительный резистор $R_д$ сопротивленнем 510—1000 Ом.

Прежде чем измернть коэффнциент $B_{ст}$ (рис. 42, *в*), необходимо установить определениый ток базы $I_б$. Для этого переключатели B_1 и B_2 переводят в верхнее (по схеме на рис. 41), а переключа-

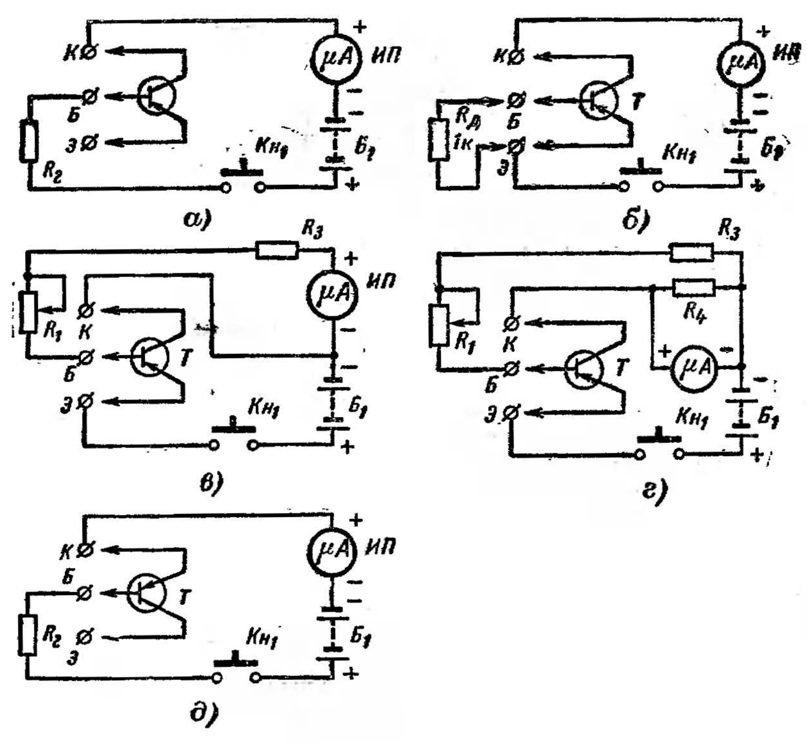


Рис. 42.

тель B_3 — в нижнее положенне. При этом в цепь смещения транзистора последовательно с резисторами R_3 и R_1 включается мнкроамперметр. Ток базы регулируют переменным резистором R_1 при нажатой кнопке $Кн_1$. Резистор R_3 ограиичивает ток в цепи базы проверяемого транзистора в случае, если резнстор R_1 перед измерением случайно окажется полностью выведеиным. Сопротнвления резисторов R_1 и R_3 выбраны такими, чтобы в цепи базы можно было устанавливать ток в пределах от 10 до 100 мкА.

При измерении статического коэффициента передачи тока (рис. 42, *г*) в цепь коллектора транзистора с помощью переключателей B_2 и B_3 (см. рис. 41) включают микроамперметр и шунт R_4. При этом ток полного отклонения микроамперметра увеличивается до 10 мА. Если ток базы, при котором измеряется $B_{ст}$, был установлен равным 100 мкА, то по шкале прибора можно отсчитывать $B_{ст}$ транзистора до 100. При токе базы $I_б = 50$ мкА предел измерения $B_{ст}$ увеличивается в два раза.

Устанавливая последовательно различные токи в цепи базы и фиксируя соответствующие им коллекторные токи (а именно их из-

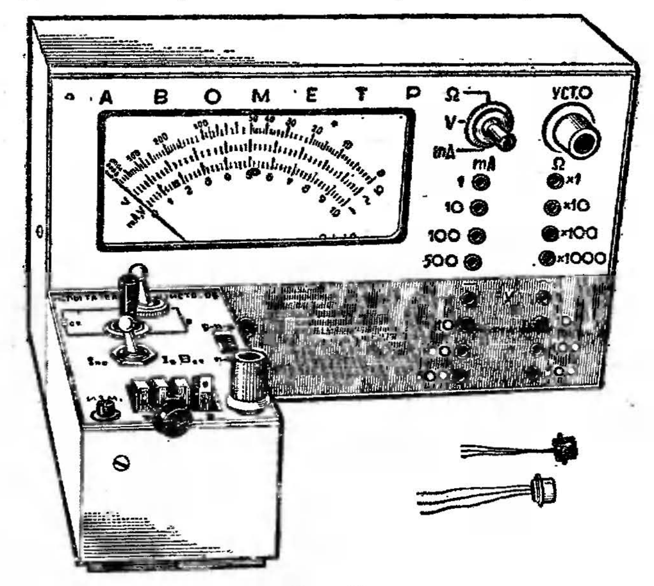


Рис. 43.

меряет микроамперметр в режиме $B_{ст}$), можно снять характеристику прямой передачи тока (зависимость тока коллектора от тока базы) и подобрать идентичные по параметрам транзисторы, необходимые, например, для двухтактного выходного каскада усилителя низкой частоты, для балансного усилителя постоянного тока и т. д.

Обратный ток эмиттера $I_{э0}$ измеряют, установив переключатели B_1, B_2 и B_3 (см. рис. 41) в положения, соответствующие измерению $I_{к0}$, и включив транзистор, как показано на рис. 42, *д*.

Конструкция и детали. Внешний вид испытателя транзисторов вместе с авометром показан на рис. 43, конструкция приставки — на рис. 44, а разметка отверстий на лицевой панели и схема соединений деталей приставки — соответственно на рис. 45, *а* и *б*.

Как и в транзисторных вольтметрах, несущим элементом конструкции является корпус приставки, изготовленный из листового алюминиевого сплава толщиной 1 мм. На лицевой панели (верхней стенке) закреплены переключатели B_1—B_4, переменный резистор R_1,

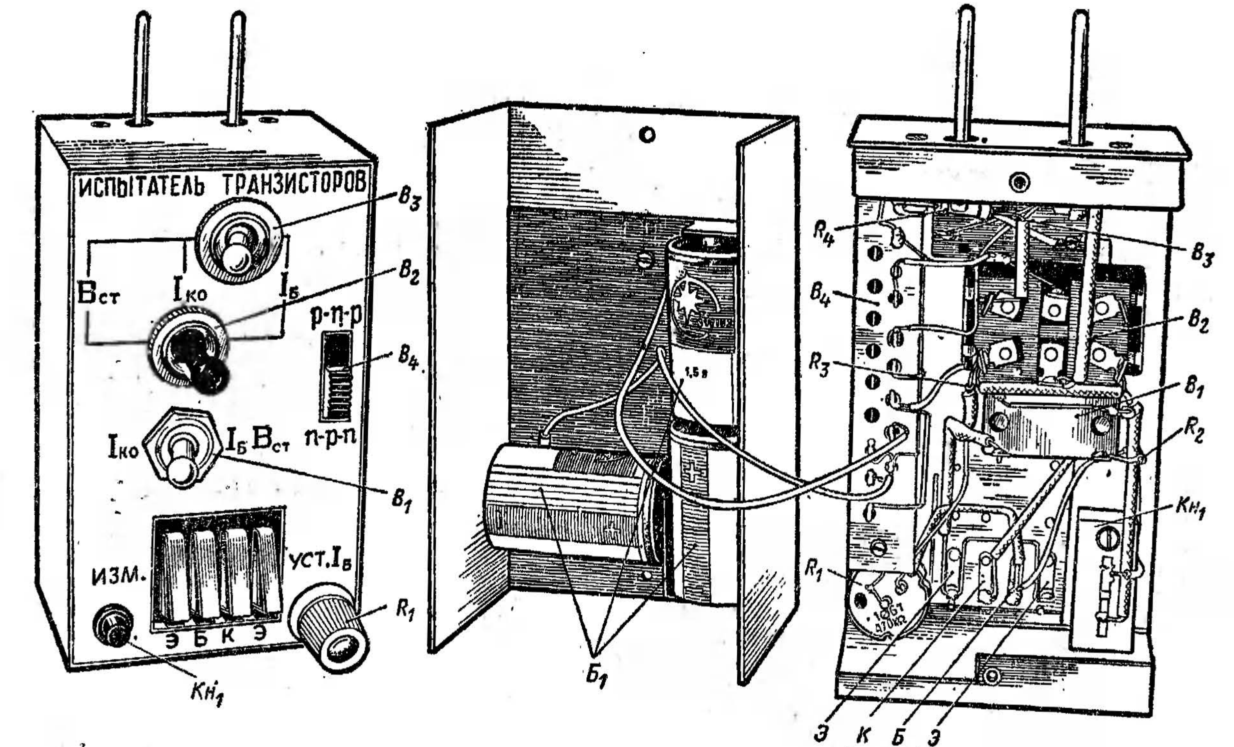

ИСПЫТАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ
$В_3$
$В_{ст}$
$I_{ко}$
$I_Б$
$В_2$
p-n-p
$В_4$
n-p-n
$I_{ко}$
$I_Б$ $В_{ст}$
$В_1$
ИЗМ.
УСТ. $I_Б$
Э Б К Э
R_1
$Кн_1$
1,5 в
$Б_1$
R_4
$В_3$
$В_4$
$В_2$
R_3
$В_1$
R_2
$Кн_1$
R_1
Э К Б Э

Рис. 44.

Рис. 45.

кнопка $Кн_1$ и плата с зажимами для подключения транзисторов, на боковой стенке — штепсельная колодка для соединения приставки с микроамперметром авометра. Панель с батареей $Б_1$ закреплена на крышке корпуса, изготовленной из того же материала, что и корпус. Конструкция держателей элементов батареи и их крепление на панели такие же, как и в авометре, только для удобства подпайки вы-

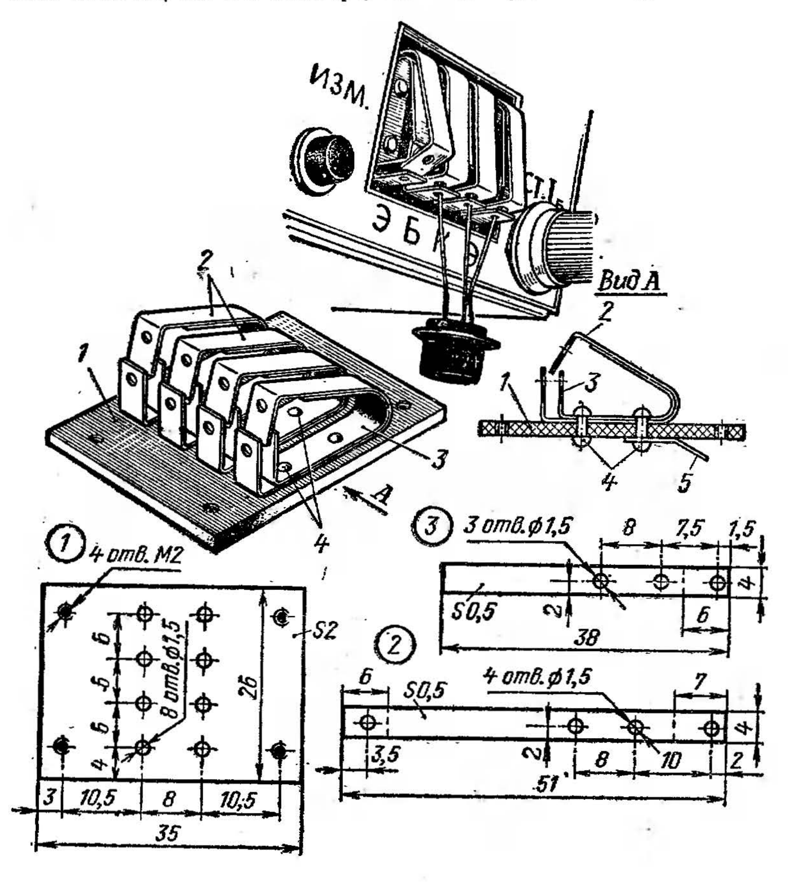


Рис. 46.

водов батареи держатели снабжены контактными лепестками. Чтобы заклепки, крепящие держатели к панели, не замкнулись через металлическую крышку, в ней точно против заклепок просверлены отверстия диаметром 8 мм. Сама панель изготовлена из гетинакса толщиной 1 мм, держатели элементов — из латуни толщиной 0,5 мм. С крышкой корпуса панель соединена двумя винтами М2×6, ввинченными в резьбовые отверстия в пластине, выполняющей роль при-

борных ножек. Крышка в сборе с панелью батареи и пластиной прикреплена к корпусу винтами М2×8 с потайными головками. Винты ввинчены в гайки М2, приклеенные клеем БФ-2 к полочкам корпуса с внутренней стороны.

Конструкция зажимов для подключения проверяемых транзисторов к прибору показана на рис. 46. Каждый зажим состоит из деталей *2* и *3*, закрепленных на гетинаксовой плате *1* заклепками *4*. Соединительные проводники припаивают к монтажным лепесткам *5*. Детали зажимов изготавливают из твердой латуни или бронзы толщиной 0,4—0,5 мм. При работе с прибором нажимают на верхнюю часть детали *2* до совмещения отверстия в ней с отверстиями в нижней части этой же детали и детали *3* и вставляют в них вывод проверяемого транзистора. Необходимое контактное давление создается за счет пружинящих свойств материала, из которого изготовлены зажимы.

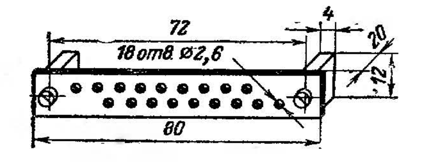


Рис. 47.

Движковый переключатель B_4 (от приемника «Сокол») крепится к корпусу с помощью кронштейна, показанного на рис. 47. Кронштейн состоит из гетинаксовой пластины с двумя рядами отверстий и двух стоек, выпиленных из органического стекла. Между собой пластина и стойки соединены винтами М2×6. Выводы контактов переключателя вставляют в отверстия в пластине со стороны стоек. Стойки закрепляют на верхней стенке корпуса винтами М2×6 с потайными головками; такими же винтами к корпусу крепят штепсельную колодку, соединяющую приставку с микроамперметром авометра.

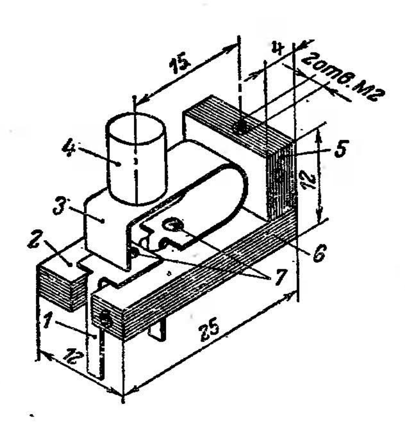


Рис. 48.

Конструкция кнопки $Кн_1$ показана на рис. 48. Ее корпус состоит из деталей *5* и *6*, выпиленных из органического стекла и склеенных между собой. Контакты *1* и *3* кнопки закреплены на корпусе *2* с помощью заклепок *7*. Сама кнопка *4* соединена с контактом *3* винтом М3×5. Для крепления кнопки на корпусе приставки в торцах деталей *5* и *6* предусмотрены резьбовые отверстия под винты М2. Контакты *1* и *3* можно изготовить из того же материала, что и детали зажимов, кнопку — из эбонита, органического стекла, текстолита или подобного им материала.

Резистор R_4 изготовлен из медного обмоточного провода ПЭВ-1 0,06. Его каркасом служит корпус резистора МЛТ-0,5 (сопро-

тивлением не менее нескольких килоом). При налаживании прибора сопротивление резистора R_4 приходится подбирать, поэтому его первоначальное сопротивление берут с некоторым запасом (5—10%).

Остальные детали, примененные в испытателе транзисторов (рис. 43), стандартные: переключатель B_2 — тумблер П2ТШ-1 на два направления и три положения, B_1 — тумблер на одно направление и два положения, B_3 — тумблер на два направления и два положения. Постоянные резисторы R_2 и R_3 — типа ВС-0,125 (УЛМ-0,12 или МЛТ-0,5), переменный резистор R_1 — типа СПО-0,5.

Монтаж испытателя выполнен одножильным медным проводом диаметром 0,5 мм. В местах пересечений на него надеты трубочки из поливинилхлорида или линоксина. Для соединения с источниками питания использован провод МГШВ сечением 0,14 мм².

Все надписи выполнены на листе плотной бумаги и закрыты прозрачной накладкой из органического стекла. Для крепления накладки использованы гайки переключателей B_1—B_3 и переменного резистора R_1.

Налаживание правильно смонтированного прибора сводится только к подбору сопротивления резистора R_4. Для этого штепсели испытателя вставляют в гнезда *100 мкА* авометра, а к зажимам *Э* и *К* подключают цепь, состоящую из переменного резистора сопротивлением 510—750 Ом и образцового миллиамперметра на ток 10—20 мА, соединенных последовательно. Переключатели B_1, B_2 и B_3 устанавливают в положения, соответствующие измерению $B_{ст}$. Перемещая движок переменного резистора (при нажатой кнопке $Кн_1$), по образцовому миллиамперметру устанавливают в цепи ток, при котором стрелка калибруемого прибора отклонится до последнего деления шкалы. Затем, постепенно отматывая провод с резистора R_4 и таким образом увеличивая ток в цепи, добиваются одинаковых показаний обоих приборов (10 мА). Напоминаем: замыкать измерительную цепь можно только при подключенном резисторе R_4, чтобы не повредить прибор. На этом налаживание испытателя транзисторов заканчивается.

При работе с прибором вначале следует измерить обратный ток коллектора $I_{к0}$ и, только убедившись в исправности коллекторного перехода транзистора, измерять остальные параметры ($I_{к.н}$, $B_{ст}$).

Если в авометре использован микроамперметр с данными, отличными от описанных в гл. 2, сопротивление шунта R_4 придется пересчитать по формуле, приведенной в гл. 1.

Следует помнить, что точность измерений параметров транзисторов зависит от напряжения батареи питания, поэтому его необходимо периодически контролировать. При уменьшении напряжения до 3,5—3 В элементы батареи следует заменить свежими.

Глава шестая
ИЗМЕРИТЕЛЬ *RCL*

Этот прибор комплекта измерительной лаборатории с достаточной для радиолюбительских целей точностью позволяет измерять: сопротивления резисторов — от 10 Ом до 10 МОм, емкости конденсаторов — от 10 пФ до 10 мкФ, индуктивности высокочастотных катушек и дросселей — от 10—20 мкГ до 8—10 мГ. Метод измерения — мостовой. Индикация балансировки измерительного моста — звуковая с помощью головных телефонов. Точность измерений во многом зависит от тщательности подбора деталей и градуировки шкалы.

Принципиальная схема прибора показана на рис. 49. Прибор состоит из простейшего реохордного измерительного моста переменного тока, генератора электрических колебаний низкой частоты и усилителя тока. Питание прибора осуществляется постоянным напряжением 9 В, снимаемым с нерегулируемого выхода блока питания. Прибор можно также питать от встроенной в него батареи «Крона», аккумуляторной батареи 7Д-0,1 или двух, соединенных по-

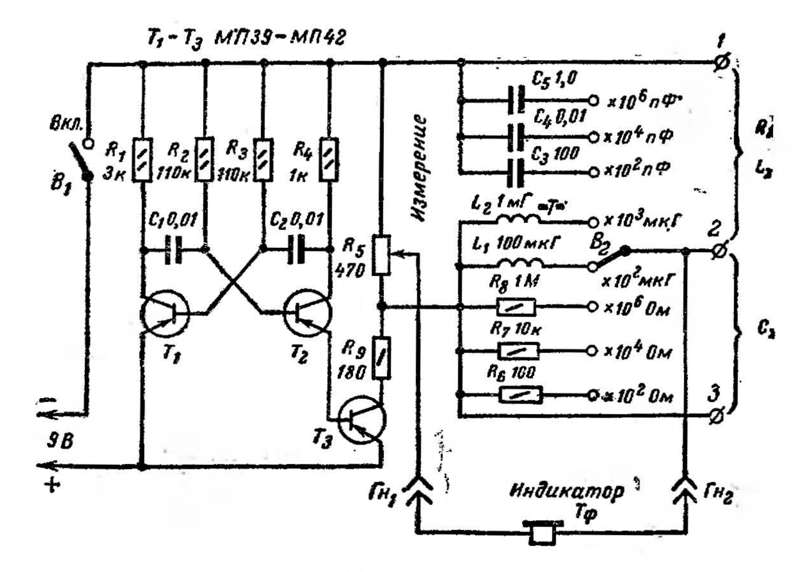


Рис. 49.

следовательно батарей 3336Л. Прибор сохраняет работоспособность и при напряжении питания 3—4,5 В, но громкость сигнала в телефонах, особенно при измерении небольших емкостей, заметно падает.

Генератор, питающий измерительный мост, представляет собой симметричный мультивибратор на транзисторах T_1 и T_2. Конденсаторы C_1 и C_2 создают между коллекторными и базовыми цепями транзисторов положительную обратную связь по переменному току, благодаря чему мультивибратор возбуждается и генерирует электрические сигналы прямоугольной формы. Данные резисторов и конденсаторов мультивибратора подобраны таким образом, что он генерирует колебания частотой около 1000 Гц. Колебания такой частоты воспроизводятся телефонами (или громкоговорителем) примерно как звук «си» второй октавы.

Электрические колебания мультивибратора поступают на вход усилителя, выполненного на транзисторе T_3, и с нагрузочного резистора R_5 подаются в диагональ питания измерительного моста. Переменный резистор R_5 является реохордом. Плечо сравнения образуют образцовые резисторы R_6—R_8, конденсаторы C_3—C_5 и катушки индуктивности L_1 и L_2, поочередно включаемые в мост переклю-

чателем B_2. Измеряемый резистор R_x или катушку индуктивности L_x подключают к зажимам *1—2*, а конденсатор C_x — к зажимам *2—3*. Головные телефоны *Тф*, являющиеся индикатором, включают в измерительную диагональ моста через гнезда $Гн_1$ и $Гн_2$. При любом виде измерений мост балансируют реохордом R_5, добиваясь полного пропадания или наименьшей громкости звука в телефонах.

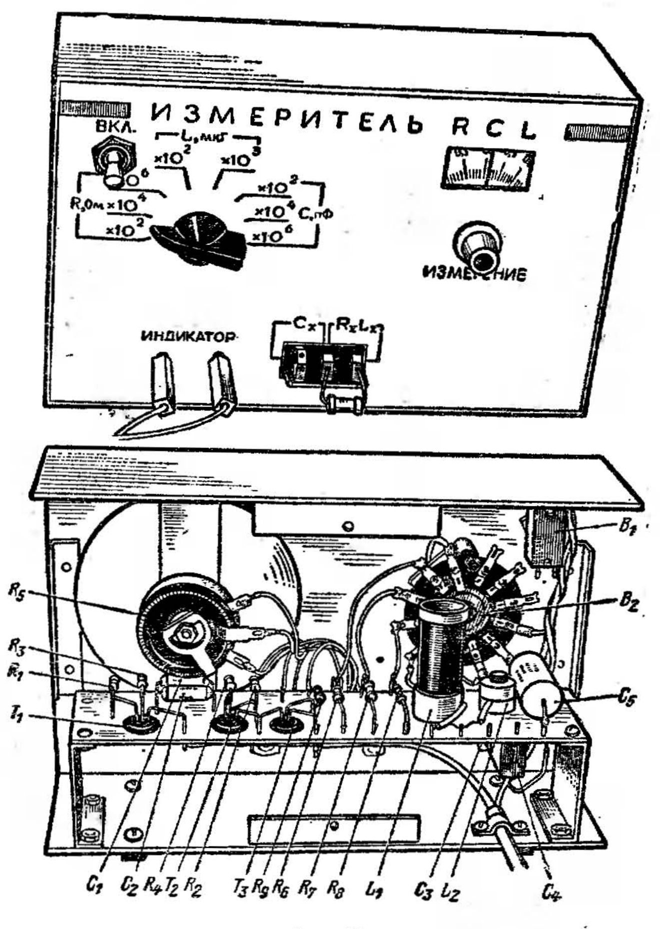


Рис. 50.

Сопротивление R_x, емкость C_x или индуктивность L_x отсчитывают по шкале реохорда в относительных единицах.

Множители возле переключателя видов и пределов измерений B_2 показывают, на сколько ом, микрогенри или пикофарад надо умно-

жить отсчет со шкалы реохорда, чтобы узнать измеряемые сопротивление резистора, емкость конденсатора или индуктивность катушки. Так, например, если в момент баланса моста положение движка реохорда соответствует отсчету 0,5, а переключатель B_2 находится в положении $\times 10^4$ *пФ*, то емкость измеряемого конденсатора C_x будет 5000 пФ (0,005 мкФ).

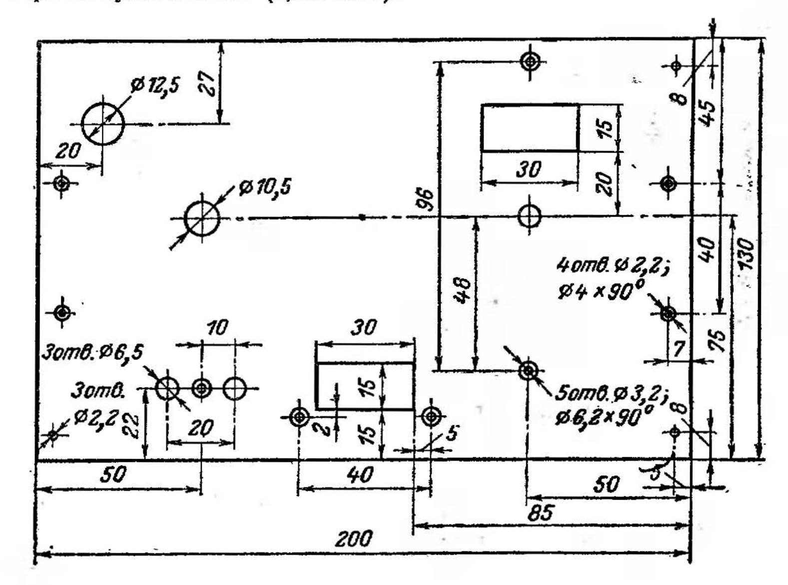


Рис. 51.

Резистор R_9 ограничивает коллекторный ток, возрастающий при измерении индуктивностей, и тем самым предотвращает возможный тепловой пробой транзистора T_3.

Конструкция и детали. Внешний вид и конструкция прибора показаны на рис. 50. Бо́льшая часть деталей смонтирована на монтажной гетинаксовой плате, укрепленной в корпусе на П-образных стойках высотой 35—40 мм. Под монтажной платой можно разместить батарею автономного питания прибора. Переключатель B_2, выключатель питания B_1 и двухгнездная колодка для включения головных телефонов укреплены непосредственно на передней стенке корпуса.

Разметка отверстий в передней стенке корпуса показана на рис. 51. Прямоугольное отверстие 30×15 мм в нижней части стенки служит для выступающих вперед зажимов прибора. Второе такое же отверстие в правой верхней части является «окном» шкалы, круглое отверстие под ним предназначено для оси резистора R_5. Отверстие диаметром 12,5 мм предназначено для выключателя питания, роль которого выполняет тумблер ТВ2-1; отверстие диаметром 10,5 мм — для галетного переключателя B_2 на 11 положений (используются только 8 положений). Пять отверстий диаметром

3,2 мм с зенковкой служат для винтов крепления гнездовой колодки, полочки с зажимами и кронштейна резистора R_5, четыре отверстия диаметром 2,2 мм (также с зенковкой) — для заклепок, осуществляющих крепление уголков, к которым крепят крышку.

Надписи, поясняющие назначение ручек управления, зажимов и гнезд, сделаны на плотной чертежной бумаге, которая прикрыта листовым прозрачным органическим стеклом. Для крепления этой

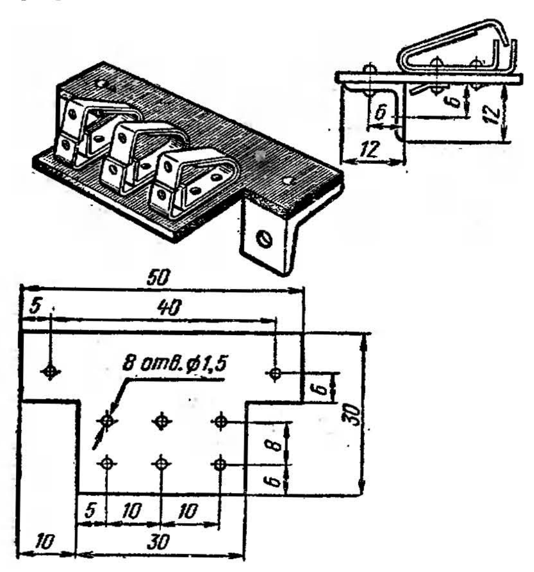


Рис. 52.

накладки к корпусу используются гайки выключателя питания B_1, переключателя видов и пределов измерений B_2 и три винта М2, ввинченные в резьбовые отверстия в накладке с внутренией стороны корпуса.

Зажимы (рис. 52) для подключения к прибору резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, параметры которых надо измерить, точно такие же, как зажимы испытателя транзисторов (см. рис. 46). Зажимы приклепаны к гетинаксовой пластинке, которая с помощью двух уголков крепится с внутренней стороны к передней стенке корпуса. Гнездовая колодка — такая же, как в ранее описанных приборах.

Конструкция шкального устройства прибора показана на рис. 53. Кронштейн *4*, с помощью которого резистор *5* (R_5) крепится к передней стенке *2* корпуса, согнут из полосы листового металла размерами 140×20×2 мм. На ось резистора туго насажена втулка с резьбой, на которой гайками укреплен металлический диск *3* диаметром 80 мм со шкалой, вычерченной на плотной бумаге. Окончательно кронштейн с резистором закрепляют на передней стенке корпуса после того, как шкала будет проградуирована и приклеена к диску.

Накладка *1*, защищающая надписи на передней панели, изготовлена из органического стекла толщиной 2 мм. Значения относительных единиц на шкале увеличиваются при вращении ручки *Измерение* в направлении, противоположном движению часовой стрелки. Указателем шкалы служит отрезок тонкой проволоки, приклеенный вертикально к краям ее «окна» с внутренней стороны передней стенки корпуса.

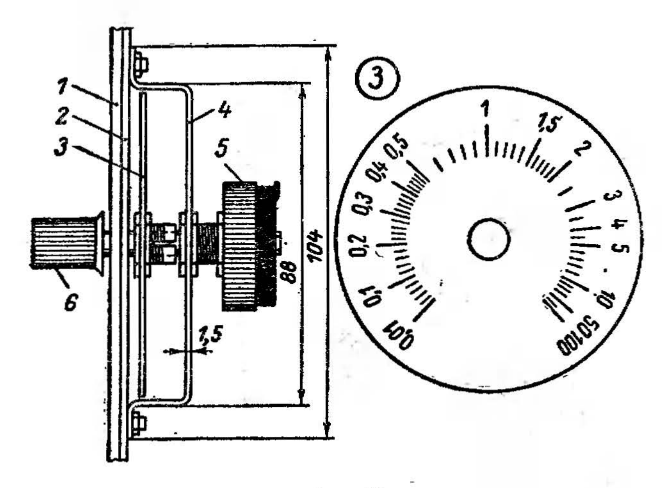


Рис. 53.

В описываемом испытателе *RCL* роль реохорда выполняет проволочный переменный резистор от телевизора КВН. Ось резистора наращена с таким расчетом, чтобы ее конец можно было пропустить через отверстия в передней стенке корпуса и накладке и насадить на нее ручку *6 Измерение.* Можно использовать и другие проволочные переменные резисторы сопротивлением от 300 Ом до 10 кОм. Переменные резисторы типа ВК или СП применять нежелательно, так как они менее стабильны, чем проволочные.

Монтажная плата и схема соединений деталей на ней показаны на рис. 54. Для мультивибратора и усилителя можно использовать низкочастотные маломощные транзисторы структуры *p-n-p*, резисторы и конденсаторы любых типов. Что же касается образцовых резисторов R_6—R_8 и конденсаторов C_3—C_5, то их надо подобрать с точностью не хуже 1—2%. Параметры этих деталей желательно проверить на промышленном измерительном приборе.

Первая катушка (L_1), индуктивность которой должна быть 100 мкГ, содержит 96 витков провода ПЭВ-1 0,2, намотанных виток к витку на цилиндрическом каркасе с внешним диаметром 17,5 мм, или 80 витков такого же провода, намотанных на каркасе диаметром 20 мм. В качестве каркаса можно использовать картонные гильзы патронов охотничьих ружей 20-го или 12-го калибров. Каркас катушки насажен на кружок, выпиленный из гетинакса и приклеенный к монтажной плате клеем БФ-2.

Вторая катушка L_2, индуктивность которой должна быть 1 мГ (в 10 раз больше индуктивности L_1), содержит 210 витков провода ПЭВ-1 0,12, намотанных на унифицированном трехсекционном полистироловом каркасе, и помещеиа в броневой сердечиик СБ-12а из карбонильного железа. Подгонку ее индуктивности осуществляют подстроечным сердечником. Броневой сердечник катушки приклеен непосредственно к монтажной плате клеем БФ-2.

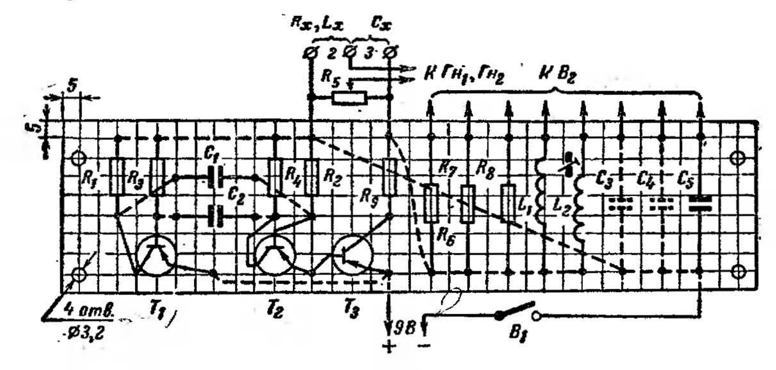


Рис. 54.

Индуктивности обеих катушек желательно измерить и подогнать, пользуясь для этого промышленным измерительным прибором. Если, однако, первую катушку выполнить точно так, как описано выше, она будет нметь необходнмую индуктивность. А когда прибор будет налажен, можно подогнать нндуктивность второй катушки.

Налаживание прибора, градуировка шкалы. Если в нзмерителе использованы предварительно проверенные и отобранные транзисторы, резисторы и конденсаторы, мультивибратор и усилитель должны работать сразу же после включения питания. Это можно проверить, соединив проволочной перемычкой зажимы *1* и *2* или *2* и *3*. В телефонах должен появиться звук, громкость которого изменяется при перемещении движка реохорда от одного крайнего положения к другому. Если звук не слышен, значит допущена ошнбка в монтаже или неправильно подключен источник питания.

Желательный тон звука в телефонах можно подобрать путем изменения емкости конденсатора C_1 или C_2. С уменьшением емкости этих конденсаторов тон звука повышается, а с увеличением — понижается.

Поскольку шкала прибора общая для всех видов и пределов измерений, ее можно отградуировать на одном из пределов с помощью магазнна сопротивлений. Допустим, что градуировка шкалы производится на поддиапазоне, соответствующем образцовому резистору R_7 (10 кОм). Переключатель B_2 при этом ставят в положение $\times 10^4$ Ом, а к зажимам *1—2* подключают резистор сопротивлением 10 кОм. Мост балансируют, добиваясь пропадания звука в телефонах, и на шкале против стрелки делают исходную отметку *1*. Она будет соответствовать сопротивлению 10^4 Ом, т. е. 10 кОм. Далее

к прибору подключают поочередно резисторы сопротивлением 9 кОм, 8 кОм и т. д. и делают иа шкале отметки, соответствующие долям единицы. В дальнейшем отметка 0,9 на шкале реохорда при измерении сопротивлений этого поддиапазона будет соответствовать сопротивлению 9 кОм ($0,9 \cdot 10^4$ Ом=9000 Ом), отметка 0,8 — сопротивлению 8 кОм ($0,8 \cdot 10^4$ Ом=8000 Ом) и т. д. Далее к прибору подключают резисторы сопротивлением 15, 20 кОм и т. д. и иа шкале реохорда делают соответствующие им отметки. В результате получится шкала, образец которой показан на рис. 53.

Градуировать шкалу можно также с помощью набора резисторов с отклоиением от номииалов не более ±5%. Соединяя резисторы параллельно или последовательно, можно обеспечивать с их помощью практически любые значеиия «образцовых» сопротивлеиий.

Отградуированная шкала пригодна для других видов и пределов измерений только в том случае, если соответствующие им образцовые резисторы, конденсаторы н катушки индуктивиости будут точно иметь параметры, указанные иа принципиальиой схеме прибора.

Пользуясь прибором, надо помнить, что при измерении емкостей электролитических конденсаторов (их положительиый вывод подключают к зажиму *3*) момент балаиса моста ощущается не так четко, как при измереиии сопротивлений, поэтому и точность их измерений меньше. Объясняется такое явление утечкой тока, свойствеиной электролитическим конденсаторам.

Глава седьмая

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ НЧ

В измерительной лаборатории радиолюбителя обязательно должен быть источник низкочастотных электрических колебаиий, т. е. генератор сигналов низкой частоты (генератор НЧ). С помощью такого генератора можно не только наладить низкочастотный тракт приемника или усилитель низкой частоты, ио и снять их частотиую характеристику, измерить чувствительиость и коэффициент усиления. Генератор НЧ можно также использовать для питаиия измерительных мостов переменного тока и для модуляции колебаний высокочастотных измерительных геиераторов.

Описываемый здесь прибор представляет собой *RC*-генератор, вырабатывающий синусоидальные электрические колебания частотой от 25 Гц до 20 кГц. С целью упрощеиия коиструкции и облегчения работы с генератором весь диапазон частот разбит на три поддиапазона, в каждом из которых геиератор вырабатывает сигиалы шести фиксироваиных частот. В первом поддиапазоне эти частоты равны 25, 50, 75, 100, 150 и 200 Гц, а в втором и третьем — соответствеино в 10 и 100 раз выше. Всего, таким образом, генератор вырабатывает сигналы 18 фиксированных частот.

Амплитуда сигнала иа выходе генератора плавио регулируется от 0 до 1,5 В. С помощью ступенчатого делителя — аттенюатора — амплитуду выходного напряжеиия можно уменьшить в 10 и 100 раз. Неравиомериость частотной характеристики генератора во всем диапазоие частот не более ±2 дБ, коэффициеит гармоник не превышает 5%.

Питание генератора осуществляется стабилизированным иапряжением 9 В (от блока питания лаборатории).

Принципиальная схема генератора НЧ показана на рис. 55. Генератор представляет собой двухкаскадный усилитель, охваченный цепями положительной и отрицательной обратных связей. В первом каскаде работают транзисторы T_1 и T_2, включенные по схеме составного транзистора, во втором — транзистор T_3, включенный по схеме с общим эмиттером. Для улучшения работы генератора на низших частотах применена непосредственная связь между транзисторами.

Цепь положительной обратной связи, благодаря которой усилитель превращается в генератор электрических колебаний, состоит из двух *RC*-ячеек: последовательной и параллельной. В зависимости от положений переключателей B_1 и B_2 в последовательную ячейку входят конденсаторы C_1, C_2 или C_3 и резисторы R_2—R_7, в параллельную — конденсаторы C_4 или C_6 и резисторы R_8—R_{13}. Обе *RC*-ячейки образуют плечи делителя переменного напряжения, снимаемого с нагрузочного резистора R_{15} транзистора T_3 выходного каскада. Напряжение с *RC*-ячеек подается в цепь базы составного транзистора. Этот делитель напряжения обладает частотно-избирательными свойствами, поэтому усилитель самовозбуждается на определенной частоте, которая зависит от емкости конденсаторов и сопротивлений резисторов, включенных в цепь положительной обратной связи.

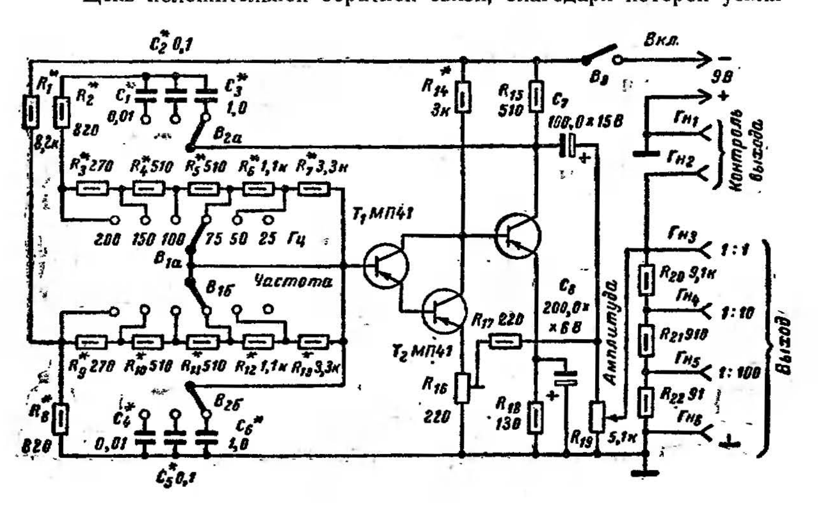


Рис. 55.

В транзисторных генераторах НЧ изменение частоты колебаний в пределах поддиапазонов обычно осуществляется с помощью сдвоенного блока переменных резисторов группы Б, включенных в плечи делителя переменного напряжения. Но такие блоки радиолюбителям приходится изготавливать самим из отдельных переменных резисторов. Задача эта не так проста, как может показаться на первый взгляд, так как сопротивление переменных резисторов имеет существенные отклонения от номинальных значений и закон изменения сопротивления у них может быть существенно неодинаковым. Приме-

нение же блока переменных резисторов, в котором сопротивления изменяются неодинаково, приводит к неустойчивой генерации и даже срыву ее в отдельных участках рабочего диапазона частот.

В описываемом генераторе вместо блока переменных резисторов применены цепочки постоянных резисторов R_2—R_7 и R_8—R_{13}, включаемые полностью или частично в цепь положительной обратной связи с помощью переключателя B_1. Резисторы R_2 и R_8, R_3 и R_9 и т. д. подбираются попарно при настройке. Переход с одного под-

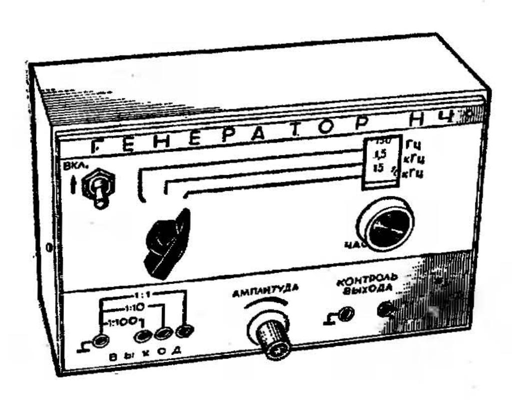


Рис. 56.

диапазона на другой осуществляется переключателем B_2, включающим в цепь положительной обратной связи конденсаторы C_1—C_3 и C_4—C_6, также подобранные попарно (C_1 и C_4, C_2 и C_5, C_3 и C_6) при настройке.

На принципиальной схеме генератора переключатели B_1 и B_2 показаны в положениях, соответствующих частоте колебаний 75 Гц.

Цепь отрицательной обратной связи служит для уменьшения искажений формы сигнала на выходе генератора. Напряжение отрицательной обратной связи снимается с нагрузочного резистора R_{15} оконечного каскада и через конденсатор C_7, резистор R_{17} и подстроечный резистор R_{16} подается в цепь эмиттера транзистора T_2 первого каскада.

Температурная стабилизация режима работы составного транзистора осуществляется резисторами R_1, R_8 и R_{16}, причем резистор R_8 входит и в частотозадающую цепь генератора. Смещение на базу транзистора T_3 снимается с коллектора составного транзистора. Для улучшения условий самовозбуждения на низких частотах резистор R_{18} в эмиттерной цепи транзистора T_3 зашунтирован конденсатором C_8 большой емкости.

С нагрузочного резистора R_{15} оконечного каскада напряжение генератора подается через конденсатор C_7 на переменный резистор R_{19}, а с его движка — на гнезда $Гн_2$, $Гн_3$ и делитель (аттенюатор) выходного напряжения, составленный из резисторов R_{20}—R_{22}. Сопротивления резисторов этого делителя выбраны с таким расчетом, чтобы напряжения на гнездах $Гн_4$ и $Гн_5$ составляли соответственно 1/10 и 1/100 части от всего напряжения, поданного на делитель.

Рис. 57.

50
40
27
20
ø 12,5
3отв. ø 10,5
2отв. ø 2,2
82
96
130
48
75
6отв. ø 6
7отв. ø 3,2; 6,2 × 90°
10
20
18
10
15
20 10 10 10 10 10 30
10
25
200

а)

5
5
2отв. ø 3,5
82
ø 10,5
55 отв. ø 1,4
3 отв. ø 8,5

б)

Рис. 58.

Следует иметь в виду, что деление выходного напряжения в указанных соотношениях будет происходить только в том случае, когда сопротивление нагрузки (например, входное сопротивление усилителя низкой частоты) значительно больше выходного сопротивления генератора.

Для контроля выходного напряжения предусмотрены гнезда $Гн_1$ и $Гн_2$, к которым можно подключить вольтметр переменного тока.

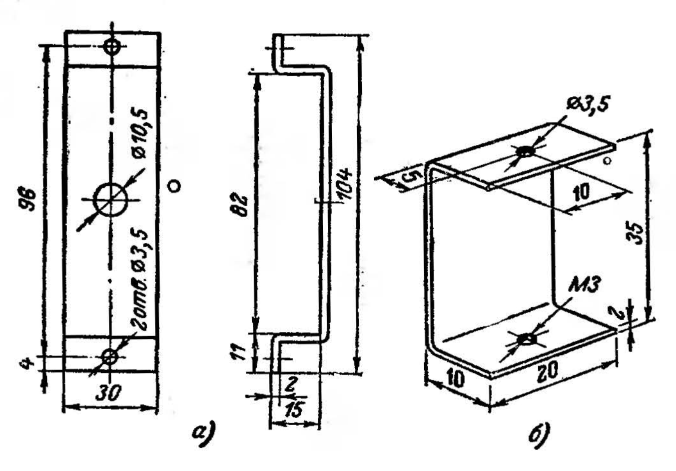


Рис. 59.

Конструкция и детали. Внешний вид генератора НЧ показан на рис. 56, его конструкция и схема соединения деталей — на рис. 57, а разметка передней стенки корпуса и монтажной платы на рис. 58, *а* и *б* соответственно.

Конструкция и размеры корпуса, изготовленного из листового алюминиевого сплава, точно такие же, как у авометра и измерителя *RCL*. На передней стенке корпуса закреплены переключатели $В_1$ и $В_2$, выключатель питания $В_3$, переменный резистор R_{19}, монтажная плата и колодка с гнездами $Гн_1$, $Гн_2$ и $Гн_3$ — $Гн_6$. Для крепления переключателя $В_1$ и монтажной платы использованы П-образные кронштейны (рис. 59, *а* и *б* соответственно), изготовленные из листового алюминиевого сплава толщиной 2 мм. На ось переключателя $В_1$ плотно насажена втулка с диском диаметром 80 мм (так же, как в измерителе *RCL*), к которому приклеена шкала, показанная на рис. 60.

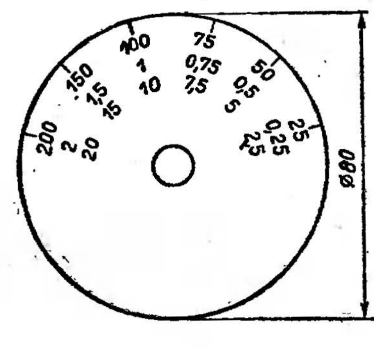


Рис. 60.

Все детали генератора, кроме **резисторов R_{19}—R_{22}, смонтированы** на плате (см. рис. 58, *б*) из листового **гетинакса толщиной** 2 мм. Опорными монтажными стойками **служат отрезки медной проволоки**, запрессованные в отверстия в плате. **Два отверстия** диаметром 3,5 мм предназначены для винтов крепления платы к кронштейнам, три отверстия диаметром 8,5 мм — для корпусов транзисторов, отверстие диаметром 10,5 мм — для переменного резистора R_{16}. Все соединения на монтажной плате выполнены медным луженым проводом диаметром 0,5 мм.

Резисторы R_{20}—R_{22} смонтированы непосредственно на контактах гнезд *Гн*$_3$—*Гн*$_6$. Детали, установленные на передней стенке, соединены с монтажной платой гибким монтажным проводом МГШВ 0,14 мм^2. Для соединения с блоком питания прибор снабжен двухпроводным кабелем со штепселями на конце.

В генераторе использованы детали: переменные резисторы СП (R_{16} и R_{19}), постоянные резисторы — МЛТ-0,5; конденсаторы — МБГО (C_3, C_6), К40-У (C_1, C_2, C_4, C_5), К50-6 (C_7 и C_8); транзисторы МП41 (можно заменить транзисторами МП40, МП42) со статическим коэффициентом передачи тока $B_{ст}=60\div80$. Переключатель B_1 — галетный (11П2Н) на 11 положений (используются только шесть положений) и два направления, B_2 — также галетный (5П2Н), B_3 — тумблер ТВ2-1.

Колодки с гнездами *Гн*$_1$, *Гн*$_2$ и *Гн*$_3$—*Гн*$_6$ (конструкция их такая же, как в авометре и других приборах лаборатории), а также кронштейны переключателя B_1 и монтажной платы закреплены на передней стенке корпуса винтами М3 с потайными головками.

Надписи, поясняющие назначение органов управления и гнезд, выполнены тушью на полосах бумаги белого и серого цветов и закрыты накладкой из прозрачного органического стекла толщиной 2 мм. Для крепления накладки использованы гайки переключателя B_2, выключателя питания B_3, переменного резистора R_{19} и два винта М2, ввинченные с внутренней стороны корпуса в резьбовые отверстия в накладке.

Налаживание. Генератор НЧ является относительно сложным прибором, поэтому его целесообразно сначала смонтировать на макетной панели, полностью наладить и только потом перенести все его детали на монтажную плату.

Для облегчения налаживания генератора резисторы R_2—R_{13} и конденсаторы C_1—C_6 частотозадающей цепи желательно подобрать попарно с помощью измерителя *RCL*. Указанные на принципиальной схеме параметры этих деталей соответствуют стандартному ряду. Однако для получения сигналов заданных фиксированных частот сопротивления резисторов частотозадающей цепи должны быть: R_2 и R_8 — по 796 Ом, R_3 и R_9 — по 226 Ом, R_4, R_5, R_{10} и R_{11} — по 530 Ом, R_6 и R_{12} — по 1,06 кОм, R_7 и R_{13} — по 3,19 кОм. При подборе резисторов надо стремиться к тому, чтобы параметры парных деталей не отличались более чем на 1%.

Число фиксированных частот в каждом поддиапазоне можно увеличить, а значения частот выбрать другие. В этом случае общее сопротивление резисторов, включаемых в каждую ячейку частотозадающей цепи (R_2—R_7, R_8—R_{13}), можно рассчитать по формуле

$$R = \frac{1}{2\pi fC}.$$

Так, например, чтобы настроить генератор на частоту колебаний 30 Гц, в каждую RC-ячейку необходимо включить резисторы общим сопротивлением

$$R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 5,3 \text{ кОм (при } C_3 = C_6 = 1 \text{ мкФ).}$$

Для налаживания прибора потребуются осциллограф и образцовый генератор сигналов НЧ, обеспечивающий на выходе напряже-

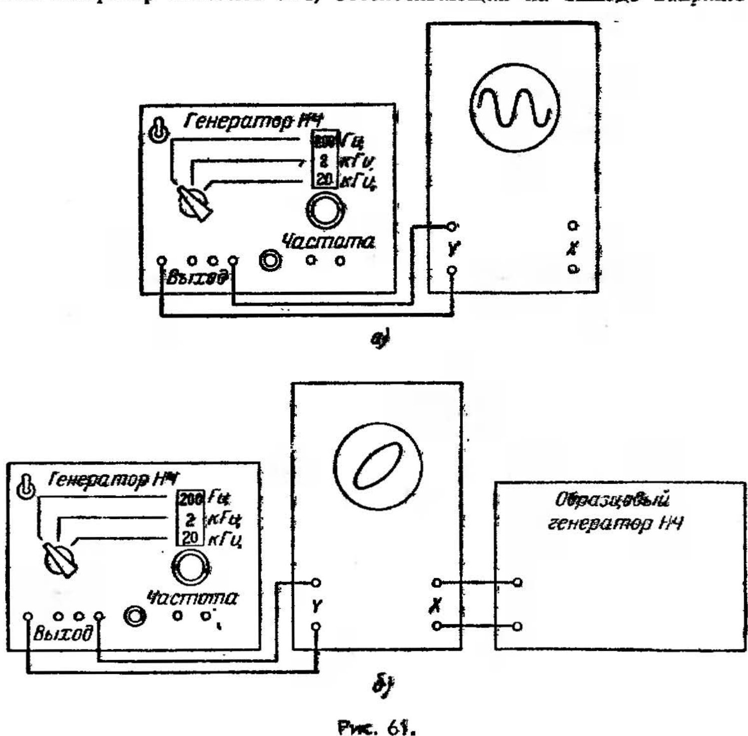


Рис. 61.

ние синусоидальной формы в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. В крайнем случае источником напряжения образцовой частоты может быть электросеть (50 Гц).

Приступая к налаживанию генератора, переключатель B_1 устанавливают в крайнее левое (по принципиальной схеме), а переключатель B_2 — в крайнее правое положения, движок подстроечного резистора R_{16} — в нижнее (по принципиальной схеме), а резистор R_{19} (*Амплитуда*) в среднее положения. Выход генератора (гнезда $Гн_3$ и $Гн_6$) соединяют со входом Y осциллографа (рис. 61, *а*), а резисторы R_1 и R_{14} временно заменяют переменными резисторами сопротивлениями 18—22 и 5,1—10 кОм соответственно. После этого

включают питание и, вращая оси резисторов R_1 и R_{14}, добиваются получения на экране осциллографа максимальной амплитуды выходного сигнала. Форма сигнала при этом может значительно отличаться от синусоидальной. Для получения синусоидальной формы выходного сигнала переменным резистором R_{16} вводят отрицательную обратную связь. Если при этом будет наблюдаться одностороннее ограничение синусоиды, то следует более тщательно подобрать сопротивления резисторов R_1 и R_{14}.

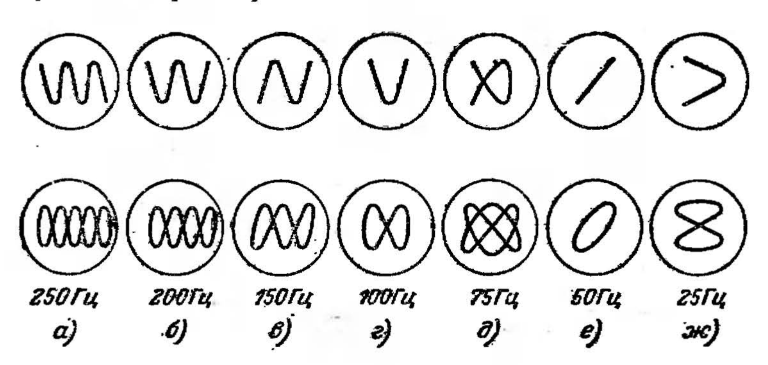


Рис. 62.

Далее генератор развертки осциллографа выключают, а на его вход X подают синусоидальное напряжение частотой 200 Гц от образцового генератора НЧ (рис. 61, *б*). Если элементы частотозадающей цепи (резисторы R_2, R_8 и конденсаторы C_3, C_6) выбраны правильно, то на экране осциллографа должно появиться изображение эллипса или прямой линии (рис. 62, *е*). Если же этого не получится и на экране осциллографа будет виден светящийся прямоугольник, то, медленно изменяя частоту образцового генератора НЧ в ту или другую сторону от заданного значения (200 Гц), добиваются получения неподвижного изображения одной из указанных на рис. 62, *е* фигур Лиссажу. Так определяют фактическую частоту колебаний налаживаемого генератора. После этого, подбирая резисторы R_2 и R_8, генератор настраивают на частоту 200 Гц. Для повышения частоты генерации сопротивления этих резисторов следует уменьшить, а для уменьшения частоты, наоборот, увеличить.

Подобрав резисторы R_2 и R_8, отключают образцовый генератор НЧ, включают генератор развертки осциллографа и проверяют форму выходного напряжения. Изменением сопротивлений резисторов R_1 и R_{14} добиваются максимального значения и неискаженной формы сигнала, после чего временно включенные переменные резисторы R_1 и R_{14} заменяют постоянными резисторами соответствующих сопротивлений.

Если источником напряжения образцовой частоты служит электросеть (например, переменное напряжение, снятое с накальной обмотки силового трансформатора любого лампового радиоприемника или усилителя), то его подают на вход X осциллографа через конденсатор емкостью 4700—10 000 пФ. В этом случае при правильной на-

стройке генератора на экране осциллографа должна наблюдаться одна из показанных на рис. 62, *б* фигур Лиссажу.

Настроив генератор на частоту 200 Гц, переключатель B_1 устанавливают в следующее положение (150 Гц) и, соответственно изменив частоту образцового генератора, подбором резисторов R_3 и R_9 добиваются получения на экране осциллографа изображения эллипса или прямой линии (рис. 62, *е*). Аналогично настраивают генератор и на остальные частоты первого поддиапазона, подбирая резисторы R_4 и R_{10} (100 Гц), R_5 и R_{11} (75 Гц) и т. д. Вид фигур Лиссажу для этих частот, полученных при использовании электросети в качестве источника образцовой частоты, показан на рис. 62, *в—ж*.

На втором и третьем поддиапазонах подбирают только конденсаторы C_1, C_4 (второй поддиапазон) и C_2, C_5 (третий поддиапазон) на одной из фиксированных частот. При калибровке частотой электросети подбирают конденсаторы C_2 и C_5 на частоте 250 Гц (переключатель B_1 — в крайнем правом положении). Вид фигур Лиссажу для этого случая показан на рис. 62, *а*.

На третьем поддиапазоне калибровка частотой 50 Гц по фигурам Лиссажу невозможна из-за слишком большого соотношения частот. Поэтому при отсутствии образцового генератора НЧ придется ограничиться тщательным подбором емкости конденсаторов C_3 и C_6 с помощью измерителя *RCL*.

Подбирая резисторы и конденсаторы частотозадающей цепи, следует контролировать форму выходного напряжения налаживаемого генератора НЧ и при необходимости более тщательно корректировать ее подбором соответствующих элементов.

Глава восьмая

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ ВЧ

Проверка и налаживание высокочастотных трактов приемников, волномеров и других радиотехнических устройств значительно облегчаются, если в измерительной лаборатории есть генератор сигналов высокой частоты (генератор ВЧ).

Сравнительно простой транзисторный генератор ВЧ, описание которого здесь приводится, генерирует электрические колебания синусоидальной формы в трех поддиапазонах: 0,15—0,5; 0,5—2 и 4—12,5 МГц. Максимальное напряжение выходного сигнала первого поддиапазона —1,1, второго —1,05, третьего —0,27 В. Для модуляции генератора ВЧ используется генератор НЧ, описанный в гл. 7.

Питание генератора осуществляется стабилизированным напряжением 9 В, получаемым от блока питания лаборатории. Ток, потребляемый генератором, составляет 8,5—8,8 мА.

Принципиальная схема генератора ВЧ показана на рис. 63. Прибор состоит из задающего генератора (транзистор T_1), двухкаскадного усилителя колебаний высокой частоты (транзисторы T_2 и T_3) и делителя выходного напряжения — аттенюатора (резисторы R_{11}— R_{14}).

Задающий генератор собран по схеме с индуктивной обратной связью между эмиттерной и коллекторной цепями транзистора. Режим работы транзистора по постоянному току определяется резистором R_1, включенным в базовую цепь. Катушки индуктивности L_1 и L_2, L_3 и L_4, а также L_5 и L_6 индуктивно связаны между собой. С помощью переключателя B_1 в коллекторную цепь транзистора мож-

но включить катушку индуктивности L_1, L_2 или L_3, образующую с последовательно соединенными конденсаторами C_5 и C_6 колебательный контур задающего генератора, а в эмиттерную цепь (через конденсатор C_3) — соответствующую ей катушку индуктивности обратной связи L_2, L_4 или L_6. В результате генератор возбуждается и генерирует электрические колебания, частота которых определяется параметрами контура в коллекторной цепи транзистора.

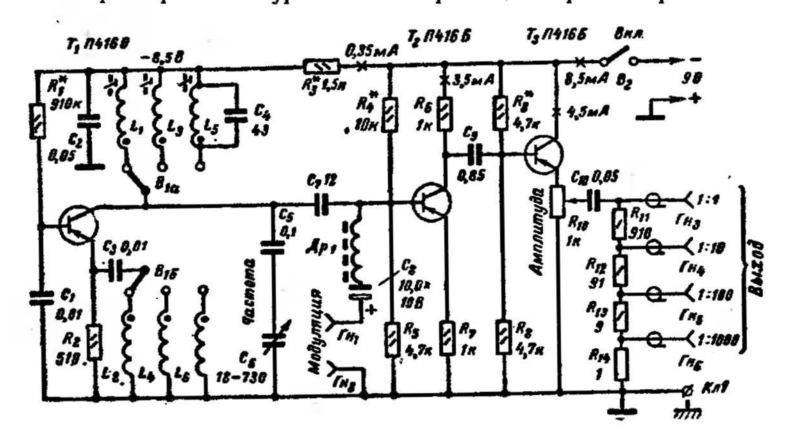


Рис. 63.

Настройка задающего генератора на нужную частоту осуществляется конденсатором переменной емкости C_6. Конденсатор C_5 — разделительный; он исключает замыкание коллекторной цепи транзистора на плюсовой проводник питания в случае касания роторных и статорных пластин конденсатора C_6. Резистор R_3 и конденсатор C_2 образуют развязывающий фильтр задающего генератора по цепи питания.

Высокочастотный сигнал с коллектора транзистора T_1 через конденсатор C_7 поступает на базу транзистора T_2 первого каскада усилителя. Сюда же с гнезд $Гн_1$ и $Гн_2$ (*Модуляция*) через электролитический конденсатор C_8 и высокочастотный дроссель $Др_1$ может поступать и модулирующий низкочастотный сигнал от внешнего генератора НЧ. Дроссель $Др_1$ препятствует короткому замыканию тока высокой частоты на плюсовой проводник питания при подключении генератора НЧ.

Отрицательное напряжение смещения на базу транзистора T_2 подается с делителя R_4R_5. Резистор R_7, включенный в эмиттерную цепь этого транзистора, стабилизирует работу каскада.

Высокочастотный сигнал, усиленный транзистором T_2, выделяется на нагрузочном резисторе R_6 и через конденсатор C_9 подается на вход эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе T_3. Выходное напряжение высокочастотного сигнала регулируется переменным резистором R_{10} (*Амплитуда*) и через конденсатор C_{10} подается на гнездо $Гн_3$, расположенное на передней панели генератора. Конденсатор C_{10} предотвращает замыкание цепи эмиттера

транзистора T_3 по постоянному току через делитель выходного напряжения R_{11}—R_{14}. Делитель R_{11}—R_{14} делит выходное напряжение в отношениях 1/10, 1/100 или 1/1000. С выхода делителя напряжение подается на гнезда $Гн_4$—$Гн_6$, расположенные на боковой стенке корпуса.

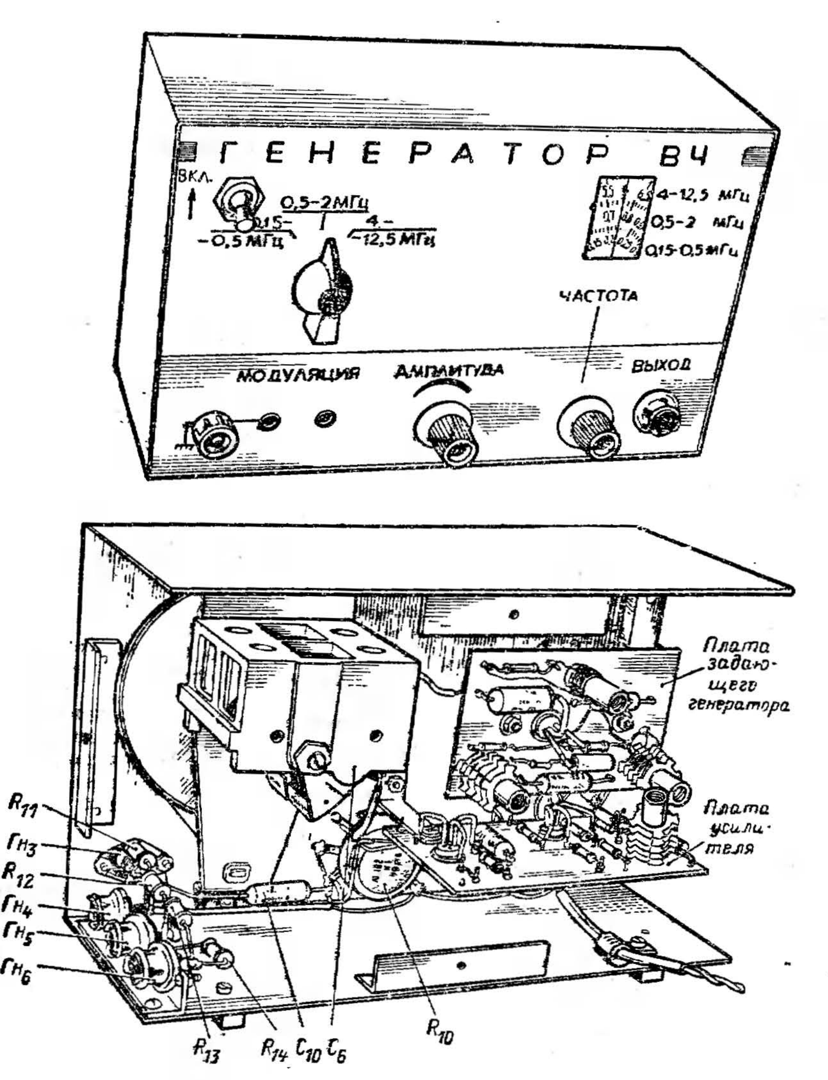


Рис. 64.

Подгонку низкочастотных границ поддиапазонов осуществляют подстроечными сердечниками катушек задающего генератора. Высокочастотные границы первого и второго поддиапазонов определяются начальной емкостью конденсатора C_6 и емкостью монтажа, а третьего поддиапазона — еще и емкостью конденсатора C_4, включенного параллельно катушке L_5.

Конструкция и детали. Внешний вид генератора ВЧ и вид на монтаж показаны на рис. 64. Конструкция корпуса, его размеры

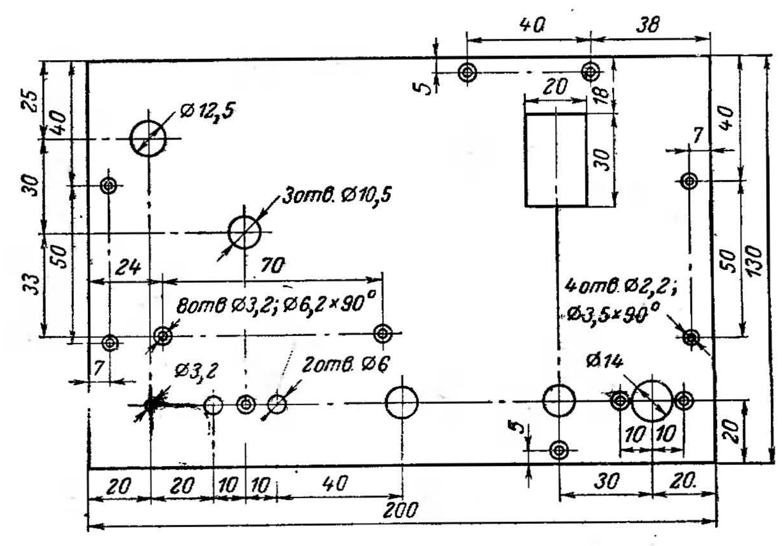
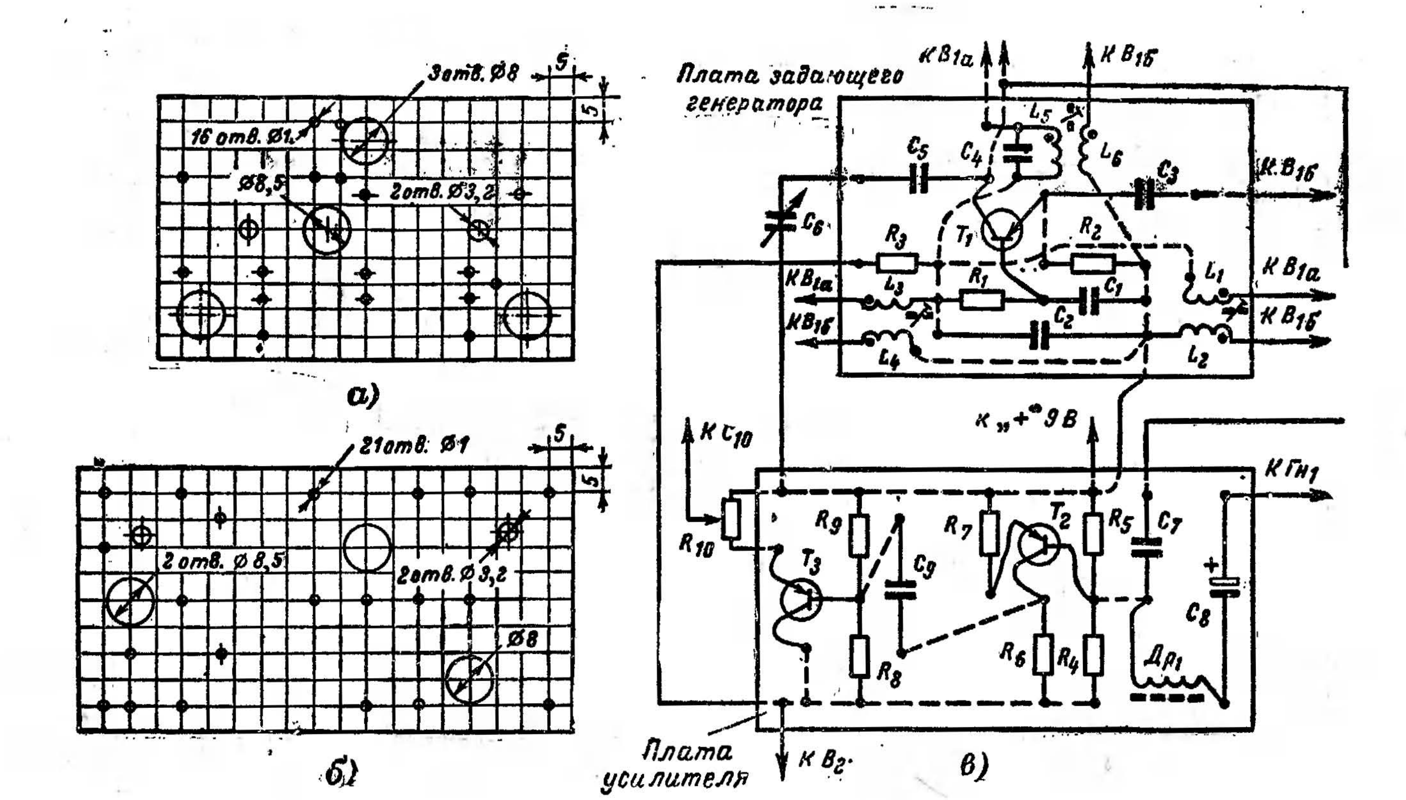


Рис. 65.

(за исключением глубины), гнездовая колодка и уголки для крепления крышки — точно такие же, как в уже описанных авометре, измерителе *RCL* и генераторе НЧ. Глубина корпуса определяется размерами конденсатора переменной емкости и в данном случае равна 75 мм (на 10 мм больше глубины корпусов других приборов).

Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 65. Отверстие диаметром 12,5 мм служит для выключателя питания B_2, три отверстия диаметром 10,5 мм — для переключателя поддиапазонов B_1 и осей резистора R_{16} (*Амплитуда*) и конденсатора C_6 (*Частота*), отверстие диаметром 14 мм — для коаксиального гнезда $Гн_3$ выходного напряжения. Прямоугольное отверстие в правой верхней части передней стенки служит «окном» шкалы прибора. Отверстие диаметром 3,2 мм предназначено для зажима *Земля*, два отверстия диаметром 6 мм — для гнезд $Гн_1$ и $Гн_2$ (*Модуляция*), остальные отверстия с зенковкой служат для крепления гнездовой колодки, выходного гнезда, кронштейна конденсатора переменной емкости со шкалой и уголков крышки корпуса.

Детали задающего генератора размещены на отдельной гетинаксовой плате, укрепленной на шпильках переключателя поддиапа-



3отв. Ø8
16 отв. Ø1
Ø8,5
2отв. Ø3,2
а)
21отв. Ø1
2 отв. Ø 8,5
2отв. Ø 3,2
Ø8
б)
Плата задающего генератора
К В1а
К В1б
К „+" 9 В
К С10
К Гн1
Плата усилителя
К В2
в)

зонов. Детали усилителя смоитированы на другой гетинаксовой плате, которая крепится к передней стенке корпуса при помощи двух Г-образных кронштейнов шириной 10 мм, вырезанных из листового металла толщиной 2 мм. Разметка плат задающего генератора и усилителя, а также схемы соединений показаны на рис. 66 соответственно *а*, *б* и *в*. Опорными стойками для монтажа деталей служат отрезки медного луженого провода диаметром 1 н длииой 10 мм,

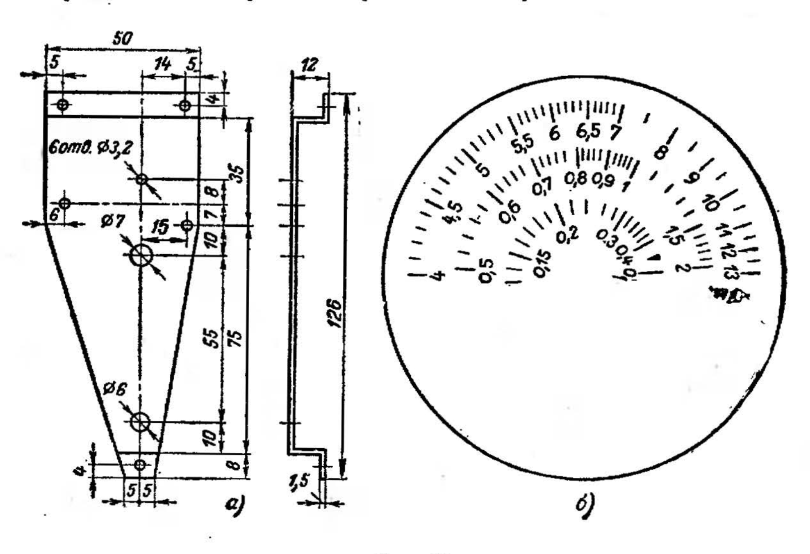


Рис. 67.

запрессованные в отверстия в платах. Все детали расположены с одной стороны платы, а соединения между ними — с другой. Корпусы транзисторов утоплены в отверстия в плате.

Резисторы R_{11}— R_{14} делителя и гнезда $Гн_4$— $Гн_6$ смонтированы на дюралюминиевом уголке, который винтамн крепится к нижней стенке корпуса. В крышке корпуса, точно против гнезд, просверлены отверстия диаметром 12 мм для штекера соединительного кабеля.

Конденсатор переменной емкости C_6 прикреплен к передней стенке корпуса с помощью кронштейна (рис. 67, *а*), изготовленного из листового алюминия. На оси коиденсатора жестко закреплен диск верньерного устройства, выполненный из органического стекла толщиной 5 мм. Диаметр диска и шкалы, приклеенной к нему, — 80 мм. Образец шкалы показан на рис. 67, *б*. По окружности в диске проточена канавка шириной и глубиной 2 мм под тросик. Осью верньерного устройства служит ось переменного резистора типа СП.

Как и в ранее описанных приборах, надписи, поясняющие назначение гнезд и ручек управления генератором ВЧ, сделаны на чертежной бумаге, прикрытой прозрачным органическим стеклом

толщиной 2 мм. Стрелкой шкалы служит отрезок проволоки, прикрепленный к краям «окна» с внутренней стороны корпуса.

В качестве конденсатора переменной емкости в генераторе используется блок КПЕ транзисторного приемника ВЭФ-12. Секции блока соединены параллельно. В результате получается конденсатор с минимальной емкостью 18 и максимальной — 730 пФ. Можно использовать любой другой блок КПЕ с воздушным диэлектриком,

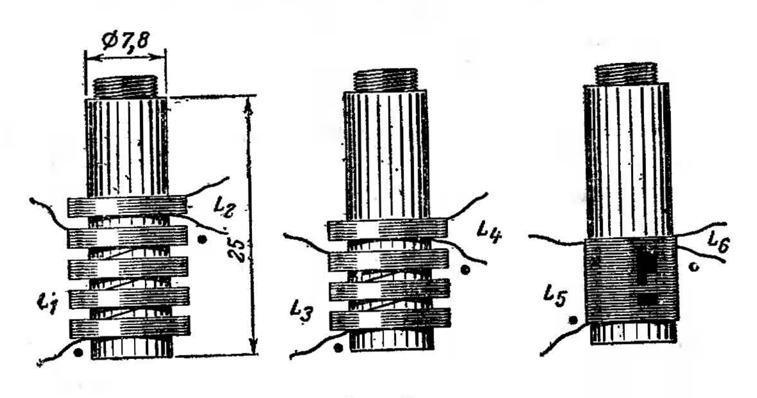


Рис. 68.

в том числе от лампового радиовещательного приемника, с наибольшей емкостью секций 490—510 пФ.

Данные других деталей генератора указаны на схеме. Переменный резистор R_{10} — типа СП, резистор R_{13} составлен из трех резисторов сопротивлением 27 Ом, соединенных параллельно, резистор R_{14} — проволочный. Выключатель питания B_2 — тумблер ТВ2-1, переключатель поддиапазонов B_1 — галетного типа с двумя группами контактов на пять положений (используются только три положения).

Транзисторы П416Б можно заменить высокочастотными транзисторами других типов, например П403, П422, ГТ313, ГТ309 со статическим коэффициентом передачи тока $B_{ст} = 60 \div 80$.

Катушки задающего генератора (рис. 68) намотаны на унифицированных каркасах диаметром 8 мм с карбонильными подстроечными сердечниками СЦР-1 диаметром 6 мм (каркасы ФПЧ телевизора «Рубин»). Катушка индуктивности L_1 содержит 440 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛ 0,15, намотанных четырьмя секциями по 110 витков в каждой секции; катушка индуктивности L_3 — 150 витков такого же провода, намотанных тремя секциями по 50 витков в каждой секции, катушка индуктивности L_5 — 12 витков провода ПЭВ-1 0,5, намотанных в один слой. Катушки индуктивности L_2, L_4, L_6 намотаны проводом ПЭВ-1 0,15 и содержат соответственно 35, 9 витков и 1 виток.

Дроссель $Др_1$ выполнен на таком же каркасе, как и катушки задающего генератора (с сердечником СЦР-1), и содержит 600 витков провода ПЭВ-1 0,1, намотанных пятью секциями по 100 витков в каждой. Для соединения генератора ВЧ с настраиваемым прибо-

ром используется отрезок коаксиального кабеля типа РК-50 длиной 500—700 мм с штепсельной частью коаксиального разъема антенного ввода для телевизора — на одном конце и зажимами «крокодил» — на другом конце кабеля.

Налаживание и градуировка. Налаживание генератора начинают с проверки монтажа, обращая особое внимание на правильность присоединения выводов транзисторов. Затем, включив питание, устанавливают указанные на принципиальной схеме режимы работы транзисторов, начиная с транзистора T_3. Рекомендуемый ток коллектора транзистора T_3 устанавливают подбором резистора R_8, коллекторный ток транзистора T_2 — подбором резистора R_4. Суммарный ток коллектора и базы транзистора T_1 задающего генератора контролируют по миллиамперметру, включенному в разрыв минусового провода источника питания перед резистором R_3, и устанавливают подбором резистора R_1. Далее вольтметром измеряют напряжение на конденсаторе C_2. Если оно окажется больше 8,5 В, то несколько увеличивают сопротивление резистора R_3, после чего проверяют и при необходимости повторно подгоняют ток транзистора T_1.

Затем проверяют, возбуждается ли задающий генератор. Делать это лучше всего с помощью радиовещательного приемника, установленного возле налаживаемого генератора. К гнезду $Гн_3$ генератора подключают кусок провода длиной 200—300 мм, резистор R_{10} (*Амплитуда*) устанавливают на максимум, переключатель поддиапазонов B_1 — на частоты 0,15—0,5 МГц, а переключатель диапазонов приемника — на прием радиостанций длинноволнового диапазона. Если задающий генератор возбуждается, то при вращении ручки конденсатора C_6 (*Частота*) в громкоговорителе приемника должны появляться звуки, похожие на свисты. Если же этих признаков возбуждения генератора нет, то концы катушки обратной связи этого поддиапазона следует поменять местами.

Таким же способом проверяют задающий генератор на других поддиапазонах. Напряжение сигнала на выходе генератора можно измерить ламповым вольтметром переменного тока.

Наиболее простой способ градуировки шкалы генератора — по шкале радиовещательного трехдиапазонного приемника или по образцовому генератору стандартных сигналов (ГСС).

Градуировку по шкале приемника производят в таком порядке. Соединяют между собой зажимы *Заземление* генератора ВЧ и приемника. Указатель настройки ставят на деление, соответствующее приему сигнала частотой 150 кГц (0,15 МГц), а регулятор громкости — в среднее положение. Затем с гнезда $Гн_3$ выхода генератора ВЧ через конденсатор емкостью 20—30 пФ подают на вход приемника (гнездо *Антенна*) высокочастотный сигнал, модулированный колебаниями генератора НЧ. Ручкой *Частота* генератора ВЧ добиваются максимальной громкости звука в громкоговорителе приемника и делают на шкале градуируемого генератора отметку, соответствующую частоте 0,15 МГц. Далее указатель настройки приемника ставят на деление 200 кГц, ручкой *Частота* генератора ВЧ снова добиваются максимальной громкости звука в громкоговорителе приемника и на шкале генератора делают отметку, соответствующую частоте 0,2 МГц и т. д. Точно так же градуируют шкалу генератора в поддиапазоне 0,5—2 МГц, затем в поддиапазоне 4—12,5 МГц. В результате получается шкала, образец которой показан на рис. 67, *б*.

Надо иметь в виду, что в поддиапазоне 4—12,5 МГц будут прослушиваться сигналы гармоник, но их громкость должна быть мень-

ше громкости основного сигнала. Поэтому градуировку рекомендуется производить при возможно меньшем уровне сигнала генератора ВЧ.

Градуировку с помощью ГСС производят по схеме, показанной на рис. 69. К выходным гнездам ГСС и градуируемого генератора ВЧ, сигналы которых не модулированы, подключают точечные диоды, например типа Д9Е. Другие выводы диодов соединяют вместе и подключают к ним высокоомные головные телефоны, зашунтированные конденсатором емкостью 1000—2000 пФ. Зажимы *Заземление* обоих генераторов соединяют вместе и сюда же подключают второй штепсель головных телефонов. Установив нужную частоту ГСС, вращают ручку *Частота* градуируемого генератора ВЧ до появления в головных телефонах звука высокого тона (свиста). Продолжая вращать ручку *Частота*, добиваются нулевых биений (пропадания звука в телефонах), что означает совпадение частот градуируемого генератора и ГСС. В этот момент на шкале градуируемого генератора ставят соответствующую отметку.

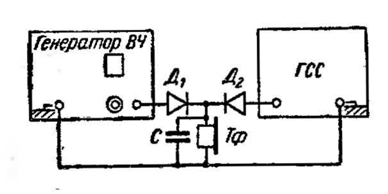


Рис. 69.

Градуировка по сигналам ГСС более точна, чем по шкале радиоприемника.

Глава девятая

БЛОК ПИТАНИЯ

В лаборатории радиолюбителя желательно иметь блок питания, с помощью которого измерительные приборы, входящие в нее, а также налаживаемые или готовые транзисторные конструкции можно было бы питать от сети переменного тока.

Принципиальная схема такого блока питания показана на рис. 70. Блок состоит из двух стабилизированных выпрямителей, работающих от общего трансформатора питания $Тр_1$. Верхний (по схеме) выпрямитель дает на выходе (гнезда $Гн_1$, $Гн_2$) постоянное напряжение 9 В при токе нагрузки до 50—60 мА; нижний (гнезда $Гн_3$, $Гн_4$) — регулируемое напряжение от 0 до 14 В при токе нагрузки до 300 мА. Первый из них предназначен в основном для питания измерительных приборов лаборатории, второй — для питания налаживаемых конструкций.

Оба выпрямителя выполнены по двухполупериодной мостовой схеме на диодах $Д_1$—$Д_4$ и $Д_6$—$Д_9$. В нерегулируемом стабилизаторе применены стабилитрон $Д_5$ и транзистор T_1, в регулируемом — стабилитрон $Д_{10}$ и транзисторы T_2 и T_3, включенные по схеме составного транзистора. Регулировка выходного напряжения второго стабилизатора осуществляется переменным резистором R_4, включенным в базовую цепь транзистора T_2 и управляющим режимом работы транзистора T_3. При перемещении движка резистора R_4 вверх (по схеме) выходное напряжение стабилизатора увеличивается и наоборот.

Для уменьшения пульсаций выпрямленных напряжений на входах стабилизаторов включены конденсаторы C_2, C_3 и C_4 большой

емкости. Чтобы ослабить помехи от электросети, между первичной *I* и вторичными *II* и *III* обмотками трансформатора имеется электростатический экран, а первичная (сетевая) обмотка зашунтирована конденсатором C_1. Кроме того, между вторичными обмотками имеется еще один электростатический экран, устраняющий паразитную связь между конструкциями, питающимися от разных выпрямителей блока.

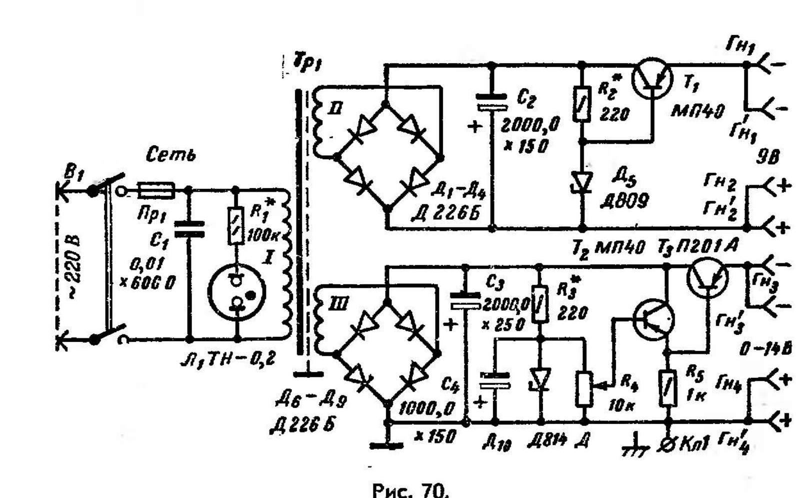


Рис. 70.

Неоновая лампа $Л_1$, подключенная к сетевой обмотке через гасящий резистор R_1, служит индикатором включения блока в сеть.

Выпрямители имеют на выходе по две пары параллельно соединенных гнезд, что позволяет использовать каждый из них для питания двух конструкций одновременно или контролировать вольтметром выходные напряжения.

Конструкция, детали. Внешний вид блока питания и вид на монтаж показаны на рис. 71 (крышка корпуса снята). Конструкция корпуса и гнездовых колодок блока точно такая же, как в авометре, измерителе *RCL* и генераторах НЧ и ВЧ. Глубина корпуса определяется размерами примененного трансформатора питания и выбрана равной 67 мм.

Разметка передней стенки корпуса показана на рис. 72. Прямоугольное отверстие в левой верхней части предназначено для «глазка» индикаторной лампы $Л_1$, а отверстие диаметром 12 мм под ним — для выключателя питания $В_1$. Прямоугольное отверстие в правой части служит «окном» шкалы выпрямителя с регулируемым выходным напряжением, под ним расположено отверстие для оси переменного резистора R_4. Отверстия диаметром 2,2 и 3,2 мм с зенковкой служат для винтов с потайными головками и заклепок, которыми к передней стенке крепят гнездовые колодки, полочку с неоновой лампой (рис. 73), кронштейн переменного резистора R_4, уголки для крепления задней стенки корпуса.

Как и в других приборах, надписи, поясняющие назначение ручек управления и гнезд, сделаны на полосах цветной бумаги и прикрыты с лицевой стороны блока накладкой из прозрачного органического стекла. С внутренней стороны на накладке, точно посредине «окна» шкалы выпрямителя с регулируемым напряжением, сделана зачерненная риска, служащая стрелкой шкалы.

На рис. 74 показано крепление на передней стенке корпуса 3 кронштейна переменного резистора R_4 и гнездовых колодок 1 выпря-

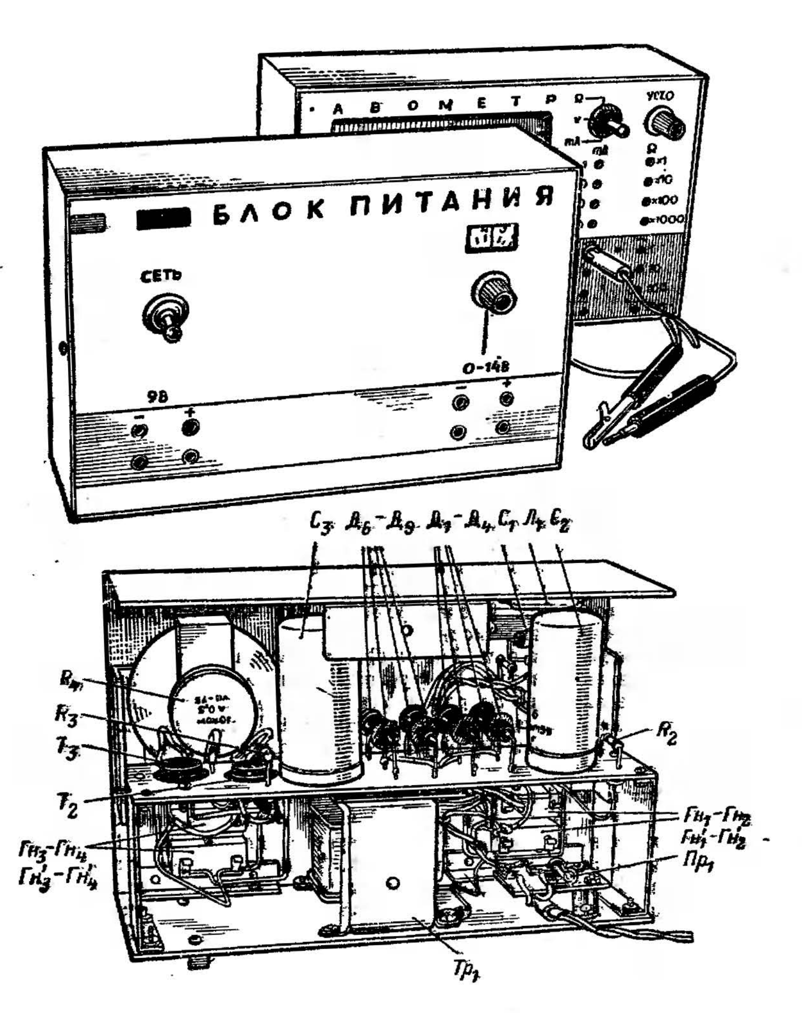


Рис. 71.

6отв. Ø2,2; Ø4×90°

Ø12

9отв. Ø6,5

6отв. Ø3,2; Ø6,2×90°

45 40 7 35 7 7 8 20 15 20 12 22 10 82 36 10 15 20 72 130 35 200

Рис. 72.

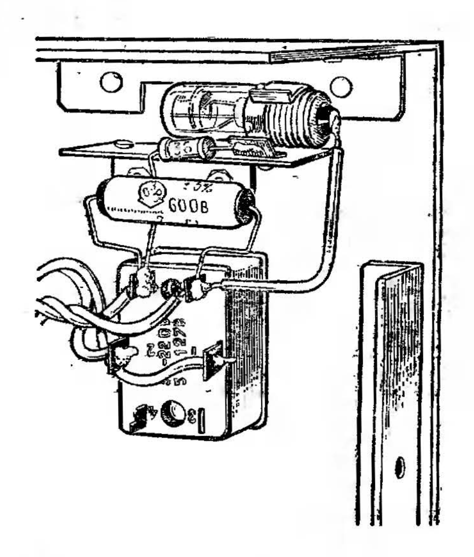


Рис. 73.

мителя с регулируемым выходным напряжением. Кронштейн 4 согнут из полосы листового металла шириной 20 и толщиной 2 мм. На ось резистора R_4 туго насажена втулка с резьбой (такая же, как в измерителе *RCL* и генераторе НЧ) и на ней гайками укреплен

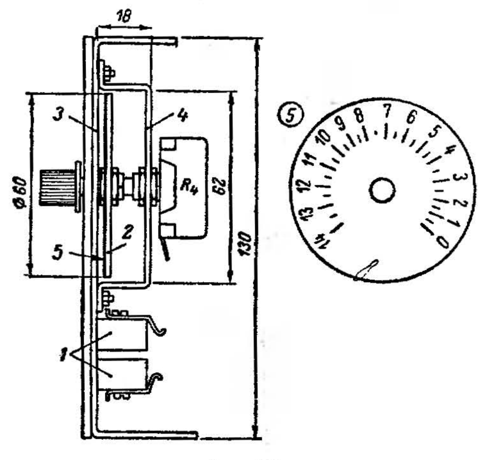


Рис. 74.

диск 2 диаметром 60 мм со шкалой 5, вычерченной на плотной бумаге. Окончательно кронштейн с резистором закрепляют на передней стенке корпуса после того, как шкала будет отградуирована и приклеена к диску.

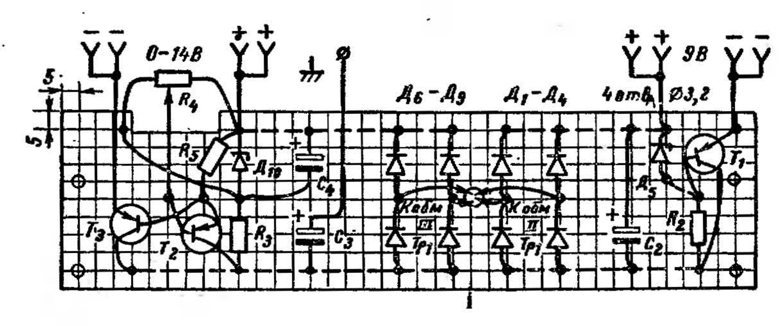


Рис. 75.

Зажим заземления закреплен на задней стенке корпуса и соединен с общей шиной регулируемого выпрямителя гибким монтажным проводом (например, МГШВ) сечением 0,35 мм².

Диоды, электролитические конденсаторы, стабилитроны, транзисторы и постоянные резисторы выпрямителей смонтированы на плате размерами 195×50 мм (рис. 75), выпиленной из листового ге-

тинакса толщиной 2 мм. Монтажными стойками служат отрезки медного луженого провода толщиной 1—1,5 мм, запрессованные в отверстия в плате. Корпуса транзисторов T_1 и T_2 утоплены в отверстия в плате, траизитор T_3 укреплен на плате винтамн. Монтажная плата крепится к корпусу на П-образных стойках, изготовленных из листового металла толщиной 2 мм

Трансформатор питания Tp_1 крепится вннтами с гайками непосредственно к нижней стенке корпуса. Чтобы исключить возможное замыкание монтажных стоек платы и металлической обоймы трансформатора, к плате прнклеена пластинка нз тонкого гетинакса. Проводникн, соединяющие обмотки *II* и *III* трансформатора питания с соответствующимн нм выпрямнтелями, пропущеиы через отверстие, просверленное в плате. Пружинящие держатели предохранителя и неоновой лампы, вырезанные из лнстовой твердой латуни илн бронзы толщнной 0,5 мм, прикреплены к гетннаксовым пластинкам размерамн 40Х20 мм. Пластинка предохраннтеля вместе с прокладкой из гетинакса толщиной 1,5 мм крепится на нижней стенке корпуса с помощью винтов *М3* с гайками, а пластинка неоновой лампы — на передней стенке корпуса с помощью уголка и заклепок.

В качестве трансформатора питания применен частично переделанный трехобмоточный трансформатор ТВК-110 (траисформатор выходной кадров), предназначеиный для телевнзоров «Волна», «Беларусь-110», «Дружба», «Сигнал». Первичная обмотка трансформатора ТВК-110 содержит 3000 витков провода ПЭВ-1 0,12, а вторичные — по 146 витков провода ПЭВ-1 0,25 и 0,47, намотанных на сердечнике УШ18Х32. Сердечнн́к трансформатора надо разобрать, аккуратно смотать провода обеих вторичных обмоток и 800 витков провода первичной обмотки. Затем поверх первичной обмотки, содержащей теперь 2200 витков (на напряжение сети 220 В), следует намотать один слой провода ПЭВ-1 0,12 (первый электростатический экран), затем 100—110 внтков провода ПЭВ-1 0,25 (обмотка *II*), снова однн слой ПЭВ-1 0,12 (второй экран) и, наконец, 130—140 витков провода ПЭВ-1 0,47 (обмотка *III*). Изоляционнымн прокладкамн между обмотками и электростатическими экранами служат полоски тонкой плотной бумаги. Если напряжение сети 127 В, первнчная обмотка должна содержать 1270 витков.

Пластины сердечника трансформатора собирают вперекрышку. Для полностью самодельного трансформатора можно использовать сердечник с площадью 5—6 см², намотав на его каркас такие же обмотки.

Вместо диодов Д226Б можно использовать любые плоскостные диоды, в том числе серин Д7, вместо транзисторов МП40 — любые другие низкочастотные маломощиые транзисторы, включая и ныне устаревшие транзисторы типов П13—П16, а вместо транзистора П201А — любой транзистор средней или большой мощности, например П213, П217. Коэффнциеит $B_{ст}$ транзисторов должен быть не менее 20—30.

Стабилитроны Д809 и Д814Д можно заменить только блнзкими нм по напряжению стабнлизации приборами, иначе максимальные выходные напряжения выпрямителей будут другими.

Электролитические конденсаторы C_2—C_4, примененные в выпрямителях блока, типа К50-6.

Переменный резистор R_4, сопротивление которого может быть в пределах 10—30 кОм, обязательно должен быть группы А (сопротивление между одним из крайних н средним выводами изменяется

пропорционально углу поворота оси резистора), чтобы шкала выходных напряжений выпрямителя была более равномерной. Выключатель питания B_1 — тумблер ТП2-1; предохранитель $Пр_1$ рассчитан на ток 0,15 А.

Испытание и налаживание. Прежде всего надо проверить правильность монтажа и особо внимательно полярность включения диодов и электролитических конденсаторов. При этом монтажную плату лучше пока не крепить на стойках, а соединить ее с другими деталями блока изолированными проводниками. Включив питание, надо сразу же измерить напряжения на выходе выпрямителей, которые должны соответствовать номинальным напряжениям стабилизации стабилитронов. Регулируемое напряжение на выходе выпрямителя должно изменяться от нуля до максимума при вращении оси переменного резистора R_4 в направлении движения часовой стрелки. В противном случае проводники, идущие к крайним выводам резистора R_4, надо поменять местами.

Далее, включив миллиамперметр сначала в цепь стабилитрона $Д_5$, а затем в цепь стабилитрона $Д_{10}$, надо подобрать сопротивления резисторов R_2 и R_3 так, чтобы начальные токи, текущие через стабилитроны, были около 20 мА. При подключении к выходам выпрямителей нагрузок, роль которых могут выполнять резисторы, токи через стабилитроны уменьшаются до 8—12 мА, а выходные напряжения остаются практически неизменными.

Шкалу выпрямителя с регулируемым выходным напряжением градуируют с помощью вольтметра (авометра, переключенного в режим вольтметра постоянного тока). Медленно вращая ручку переменного резистора R_4, на шкале карандашом делают отметки, соответствующие показаниям вольтметра, подключенного к выходным гнездам выпрямителя. Образец готовой шкалы показан на рис. 74.

После этого окончательно закрепляют кронштейн резистора на передней стенке корпуса, устанавливают на место монтажную плату и крепят лицевую накладку блока.

Глава десятая

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Электрические процессы, протекающие в цепях радиотехнических устройств, часто весьма сложны и характеризуются большим числом параметров, не все из которых можно непосредственно измерить стрелочными измерительными приборами. Действительно, вольтметром переменного тока, описанным в гл. 4, можно измерить только среднеквадратическое эффективное значение переменного напряжения в относительно узком диапазоне частот и то, если его форма близка к синусоидальной. Если же форма колебаний значительно отличается от синусоидальной, то погрешность измерений резко возрастает. Правда, эту погрешность можно учесть, но для этого необходимо знать, насколько формы колебаний отличаются от синусоидальной. Для полной же характеристики электрических процессов в той или иной цепи необходимо знать закон их изменения во времени.

Для визуального наблюдения и исследования электрических колебаний любой формы используют электронно-лучевые осциллографы. Осциллограф — это, пожалуй, наиболее универсальный измерительный прибор. Помимо качественной оценки исследуемых колеба-

ний с помощью осциллографа можно измерить ряд их параметров: максимальные и мгновенные значения напряжений и токов, мощность, длительность импульсов, частоту, девиацию частоты, фазовый сдвиг и т. д. Малая инерционность осциллографов позволяет применять их для исследования периодических колебаний в широком диапазоне частот, а также непериодических или редко повторяющихся колебаний, например одиночных импульсов.

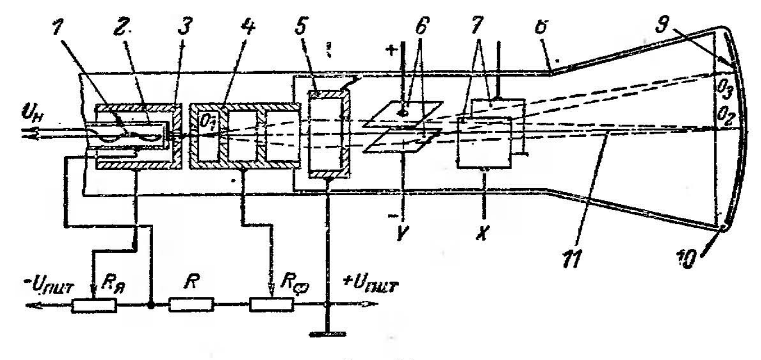


Рис. 76.

Индикатором осциллографа является экран электронно-лучевой трубки. Устройство одной из современных электронно-лучевых трубок показано на рис. 76. Она представляет собой электровакуумный прибор в виде длинного стеклянного баллона *10* цилиндрической формы, на одном из концов которого имеется конусообразное расширение. В цилиндрической части баллона (горловине) размещены две группы электродов, одна из которых образует так называемую электронную пушку, а другая — отклоняющую систему. Экраном *9* трубки служит тончайший слой специального вещества — люминофора, нанесенный на основание конической части. Под ударами электронов, сфокусированных в тонкий луч, люминофор начинает светиться, благодаря чему исследуемые колебания становятся видимыми.

Электронная пушка предназначена для создания узкого пучка электронов (электронного луча). В состав электронной пушки входят: катод *2* с подогревателем *1*, управляющий электрод или модулятор *3*, фокусирующий электрод *4* (или первый анод) и анод *5* (или второй анод).

Источником электронов в трубке, как и в электронных лампах, является катод *2*. При подаче напряжения накала $U_н$ подогреватель *1* раскаляет катод, и его торцевая поверхность, на которую нанесен оксидный слой, начинает испускать электроны. Для формирования электронного луча на фокусирующий электрод *4* и анод *5* подают положительные (по отношению к катоду) напряжения: на первый 100—500, на второй 1000—3000 В. Между катодом и этими электродами установлен управляющий электрод *3*, охватывающий катод и представляющий собой металлический стакан с небольшим круглым отверстием в дне. На этот электрод подается отрицательное (также по отношению к катоду) напряжение около нескольких де-

сятков вольт, под действием которого электроны группируются вблизи оси трубки. Здесь они попадают в электростатическое поле фокусирующего электрода *4*, который, как и анод *5*, притягивает их. Под действием электростатического поля часть электронов проскакивает через центральное отверстие управляющего электрода и устремляется к фокусирующему электроду *4*.

Если теперь изменить напряжение на управляющем электроде, то изменится и количество электронов, образующих электронный луч, а следовательно, и яркость светящегося пятна на экране трубки. Чем меньше (по абсолютной величине) напряжение на этом электроде, тем ярче изображение на экране, и, наоборот, чем оно больше, тем яркость меньше. При некотором значении этого напряжения изображение на экране полностью пропадает. Иначе говоря, управляющий электрод в электронно-лучевой трубке выполняет те же функции, что и управляющая сетка в электронной лампе (отсюда и его название).

Фокусирующий электрод *4* также выполнен в виде цилиндра, ось которого совпадает с осью трубки, но внутри его имеется несколько перегородок (на рисунке — три) с отверстиями в центре. Попав внутрь фокусирующего электрода, электроны движутся так, что их траектории перекрещиваются вблизи некоторой точки O_1, а затем вновь расходятся. Для ограничения ширины расходящегося электронного пучка и служат перегородки с отверстиями.

Окончательное формирование пучка электронов в луч *11* и фокусировка происходят между фокусирующим электродом *4* и анодом *5*. Внутри фокусирующего электрода силовые линии электростатического поля идут под большим углом к оси трубки, поэтому на электроны действуют значительные силы, «прижимающие» их к оси. Внутри же анода направление силовых линий изменяется так, что электроны, продолжая двигаться ускоренно, несколько отходят от оси трубки. За пределами анода электроны движутся с постоянной скоростью под малым углом к оси трубки. Их траектории на этом участке пути прямолинейны и сходятся в некоторой точке O_2, лежащей на оси трубки. Изменяя напряжение на фокусирующем электроде с помощью переменного резистора $R_ф$, подбирают электростатическое поле между фокусирующим электродом и анодом так, чтобы электронный луч фокусировался в четкую светящуюся точку на поверхности экрана.

Электронно-лучевая трубка, устройство которой мы рассматриваем, обладает одним недостатком. При изменении напряжения на фокусирующем электроде изменяется и яркость светящегося пятна на экране трубки. Происходит это потому, что изменение напряжения на фокусирующем электроде приводит к изменению электростатического поля между ним и управляющим электродом. Этот недостаток устраняют введением еще одного электрода в виде длинного цилиндра с перегородками, который электрически соединяют с анодом. Благодаря этому электроны почти не попадают на фокусирующий электрод, его ток становится близким к нулю и регулировка яркости получается независимой от фокусировки луча. Так, в частности, устроена и электронно-лучевая трубка 5ЛО38, на которой собран описываемый осциллограф.

Достигая экрана и ударяясь в люминофор, электроны луча выбивают из него так называемые вторичные электроны, влияющие на фокусировку луча. Для их отвода на внутреннюю поверхность трубки, начиная от анода и почти до самого экрана, наносят проводящий

слой графита *8*, который электрически соединяют с анодом. Графитовое покрытие (аквадаг) полезно и тем, что в некоторой степени экранирует луч от воздействия внешних электрических полей. Однако такая экранировка часто недостаточна, поэтому трубку, как правило, дополнительно экранируют, помещая ее в цилиндрический экран из материала с высокой магнитной проницаемостью (пермаллой, сталь).

Для того чтобы электронный луч воспроизвел на экране трубки форму исследуемых электрических колебаний, его, очевидно, необхо-

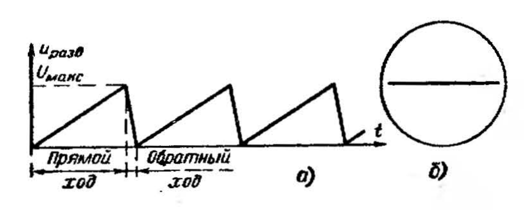


Рис. 77.

димо заставить отклоняться от центра экрана. Эту задачу выполняет отклоняющая система, состоящая из двух пар отклоняющих пластин *6* и *7*, плоскости которых взаимно перпендикулярны и образуют два конденсатора малой (1—3 пФ) емкости. В зависимости от того, в какой плоскости пластины отклоняют электронный луч, их называют пластинами горизонтального отклонения (или пластинами *X*) и пластинами вертикального отклонения (или пластинами *Y*).

Если, например, на пластины вертикального отклонения *6* подать некоторое постоянное напряжение, то электронный луч, проходя между ними, отклонится в сторону положительно заряженной пластины, а светящееся пятно переместится в точку O_3. При изменении значения и знака отклоняющего напряжения светящаяся точка будет перемещаться по экрану, прочерчивая на нем вертикальную линию. Эта линия будет видна и при медленном изменении отклоняющего напряжения. Происходит это потому, что все люминофоры, которыми покрывают экраны трубок, обладают послесвечением, т. е. светятся и после прекращения воздействия на них электронного луча. Это свойство люминофора, а также инерция глаза позволяют наблюдать изображения (осциллограммы) электрических процессов не в виде перемещающейся по экрану точки, а в виде слитной кривой.

При подаче постоянного напряжения на пластины горизонтального отклонения *7* происходит то же самое, только луч отклоняется в горизонтальном направлении. Изменяя напряжение и на этих пластинах, светящуюся точку можно перемещать по всему экрану трубки.

Для того чтобы на экране получилось изображение какого-либо электрического колебания, луч необходимо заставить двигаться по экрану одновременно в двух направлениях — горизонтальном и вертикальном, причем в первом из них он должен перемещаться с постоянной скоростью. Для автоматического перемещения луча по горизонтали на пластины *7* подают линейно-изменяющееся напряжение. Этому требованию удовлетворяет напряжение пилообразной формы

(рис. 77, *а*). В первый момент это напряжение равно нулю, поэтому светящаяся точка находится в центре экрана трубки. Постепенно увеличиваясь до некоторого максимального значения $U_{макс}$ и резко уменьшаясь до нуля, пилообразное напряжение вызывает плавное отклонение луча от центра к краю экрана во время прямого хода и быстро возвращает его к центру во время обратного хода. Так происходит развертка луча по горизонтали. Чтобы развернуть изображение светящейся линии на весь экран, на пластины *7*

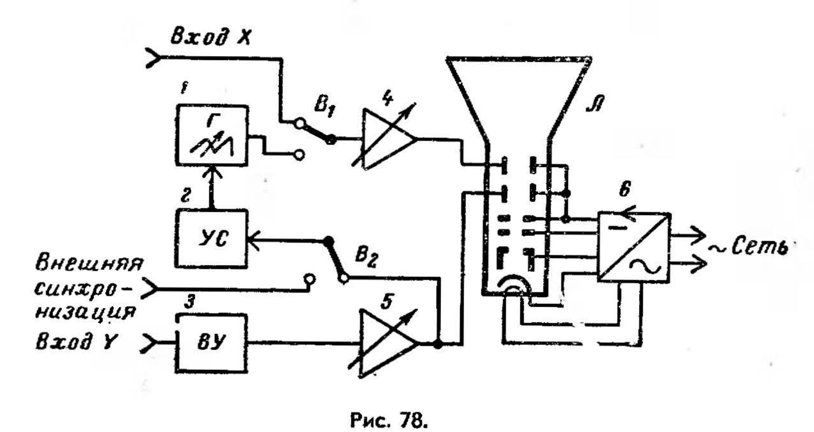


Рис. 78.

(рис. 76) кроме пилообразного подают еще и некоторое постоянное напряжение, смещающее начало горизонтальной развертки к краю экрана (рис. 77, *б*).

Горизонтальная линия на экране сохранится до тех пор, пока на пластины вертикального отклонения *6* не будет подан исследуемый сигнал. Как только это произойдет, прямая линия превратится в кривую, изображающую график изменения исследуемого сигнала во времени.

Однако чувствительность электронно-лучевых трубок, измеряемая отклонением луча (в миллиметрах) при подаче на отклоняющие пластины напряжения 1 В, очень невысока и для большинства трубок составляет 0,1—0,5 мм/В. Поэтому, чтобы на экране трубки получить изображение слабых электрических сигналов (десятые доли вольта и менее), их до подачи на отклоняющие пластины необходимо усилить. Таким образом, обязательными частями электронного осциллографа должны быть усилитель исследуемого сигнала и генератор пилообразного напряжения.

Структурная схема осциллографа показана на рис. 78. Помимо усилителя сигнала *5* и генератора развертки *1* он содержит: блок питания *6*, усилитель горизонтального отклонения *4*, необходимый для усиления пилообразного напряжения или сигналов, подаваемых на вход *X* (выбор нужного режима осуществляется переключателем B_1); входное устройство *3*, позволяющее при необходимости ослабить исследуемый сигнал, подаваемый на вход усилителя вертикального отклонения *5*; узел синхронизации *2*. Последний необхо-

дим для того, чтобы изображение исследуемого сигнала на экране трубки было неподвижным и удобным для наблюдения. Выбор источника синхронизации (внешняя или исследуемым сигналом) осуществляется переключателем B_2.

Прежде чем перейти к описанию осциллографа, входящего в состав лаборатории, познакомимся с его важнейшими параметрами. Это входное сопротивление осциллографа, чувствительность и полоса пропускания канала вертикального отклонения луча и диапазон частот (или длительность развертки).

Со входным сопротивлением мы уже знакомы.

Чувствительность канала вертикального отклонения луча, выражаемая в миллиметрах на вольт, показывает, на сколько миллиметров по вертикали отклонится электронный луч, если на вход *Y* подать напряжение 1 В. Чувствительность канала вертикального отклонения зависит от коэффициента усиления канала и чувствительности электронно-лучевой трубки.

Полоса пропускания — параметр, определяемый частотной характеристикой усилителя вертикального отклонения. По нему можно судить, сигналы каких частот усилитель осциллографа пропускает без значительного ослабления.

И, наконец, диапазон частот развертки показывает, какой может быть частота исследуемых колебаний для того, чтобы их было удобно наблюдать на экране трубки. Для получения на экране неподвижного изображения исследуемого периодического сигнала отношение его частоты к частоте пилообразного напряжения развертки должно быть равно целому числу. Очевидно, что при равенстве частот увидеть полностью исследуемый сигнал невозможно, так как часть его развертывается при обратном ходе луча. Поэтому наиболее удобно исследовать форму и измерять параметры колебаний, если их частота не более чем в 2—3 раза превышает частоту развертки. В этом случае на экране трубки видны одно — два полных колебания и одно неполное. Однако на практике часто бывает достаточно примерно оценить форму исследуемого сигнала, что можно сделать и при большем числе (например, пять) одновременно наблюдаемых колебаний. Таким образом, если диапазон частот развертки осциллографа от 2 Гц до 50 кГц, то с его помощью можно исследовать электрические колебания частотой от 4 Гц до 250 кГц.

Описываемый осциллограф имеет следующие параметры. Входное сопротивление — около 0,5 МОм; чувствительность канала вертикального отклонения луча — около 60 мм/В, полоса пропускания — 20 Гц — 100 кГц; диапазон частот развертки — от 10 Гц до 35 кГц (поддиапазоны: 10—35, 35—140, 140—800, 800—2000 Гц; 2—8 и 8—35 кГц). Габаритные размеры осциллографа — 200×220×130 мм, масса — около 5 кг.

Принципиальная схема осциллографа показана на рис. 79. Осциллограф состоит из идентичных усилителей вертикального и горизонтального отклонения луча, генератора развертки и узла электронно-лучевой трубки.

Усилитель вертикального отклонения луча выполнен на высокочастотном пентоде $Л_1$ (6Ж3П). Исследуемый сигнал через гнездо *Вход Y* и конденсатор C_1 подается на переменный резистор R_1, с помощью которого осуществляется регулировка усиления канала. С движка этого резистора сигнал поступает на управляющую сетку лампы $Л_1$. Необходимое смещение на сетке лампы создается падением напряжения на резисторе R_3, включенном в катодную цепь

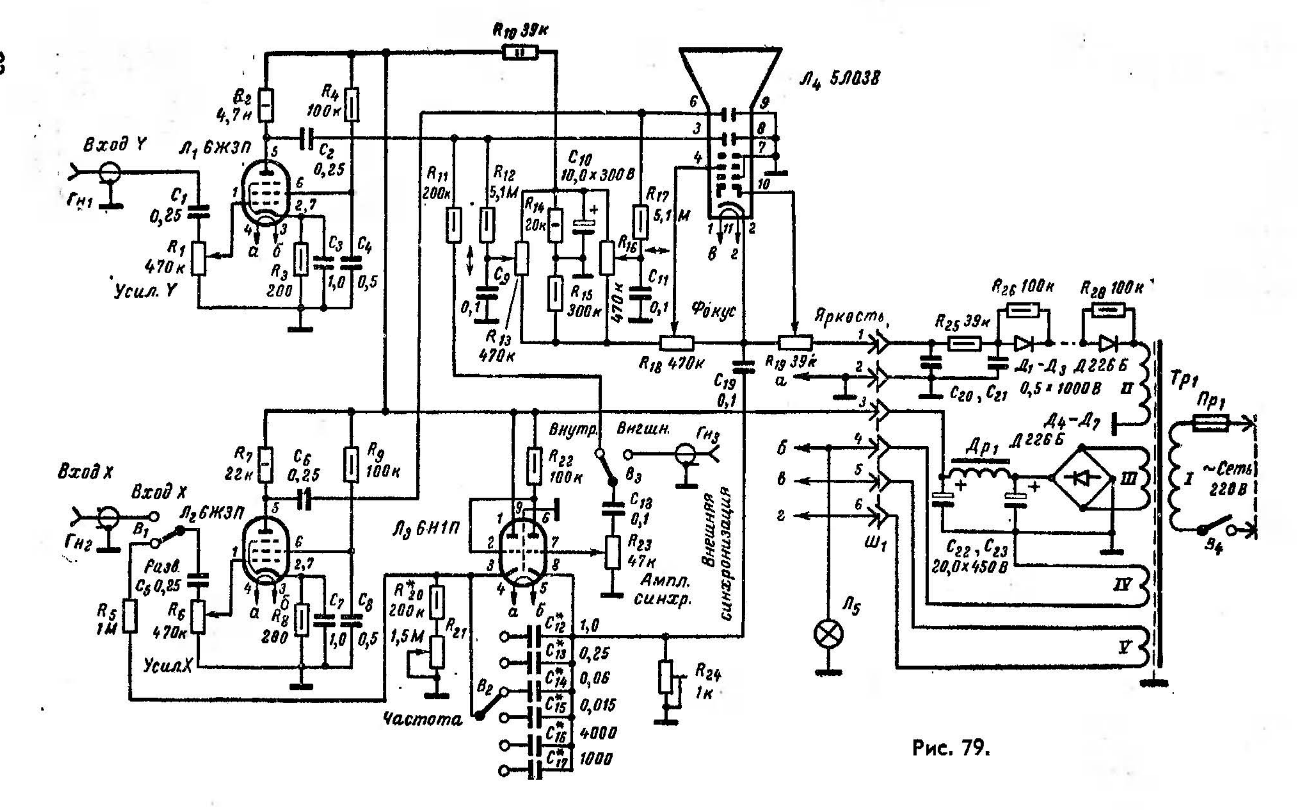

R10 39к
Л4 5ЛО38
R2 4,7к
R4 100к
Вход Y
Л1 6Ж3П
C2 0,25
Гн1
C1 0,25
R1 470к
Усил. Y
R3 200
C3 1,0
C4 0,5
R11 200к
R12 5,1М
C10 10,0×300 В
R14 20к
R17 5,1 М
R16
C9 0,1
R15 300к
470к
C11 0,1
R13 470к
Фокус
R18 470к
C19 0,1
Яркость
R19 39к
R25 39к
R26 100к
R28 100к
C20, C21
Д1-Д3 Д226Б
0,5×1000 В
Tp1
Пр1
Д4-Д7 Д226Б
Др1
~Сеть 220 В
В4
C22, C23 20,0×450 В
Ш1
Л5
Вход X
Гн2
В1
Л2 6Ж3П
R7 22к
C6 0,25
R9 100к
Разв.
C5 0,25
R5 1М
R6 470к
Усил.X
R8 200
C7 1,0
C8 0,5
Л3 6Н1П
R22 100к
Внутр.
Внешн.
Гн3
В3
C18 0,1
R23 47к
Ампл. синхр.
Внешняя синхронизация
R*20 200к
R21 1,5М
В2
Частота
C*12 1,0
C*13 0,25
C*14 0,06
C*15 0,015
C*16 4000
C*17 1000
R24 1к

Рис. 79.

лампы. С анода лампы усиленный сигнал через конденсатор C_2 подается на пластины вертикального отклонения луча трубки $Л_4$.

Усилитель горизонтального отклонения луча собран на лампе $Л_2$ по такой же схеме. На входе этого каскада имеется переключатель B_1, с помощью которого он может быть подключен либо к гнезду *Вход X*, либо к выходу генератора развертки. Усиленное напряжение с анода лампы через конденсатор C_6 поступает на пластины горизонтального отклонения луча.

Генератор развертки осциллографа выполнен на двойном триоде $Л_3$ и представляет собой видоизмененный мультивибратор с катодной связью. Формирование пилообразного напряжения, необходимого для развертки луча по горизонтали, происходит следующим образом. При открытом левом (по схеме) триоде лампы $Л_2$ один из конденсаторов C_{12}—C_{17} (в зависимости от положения переключателя B_2) быстро заряжается. Ток заряда, проходя через резистор R_{24}, создает на нем падение напряжения, закрывающее правый триод этой лампы. В этом состоянии лампа находится до тех пор, пока конденсатор не зарядится полностью. Как только это произойдет, правый триод откроется, а левый закроется, и конденсатор начнет постепенно разряжаться через резисторы R_{20}, R_{21} и R_{24}. Когда напряжение на конденсаторе уменьшится до определенного значения, левый триод лампы вновь откроется и весь цикл повторится снова. Плавное изменение частоты генерируемого пилообразного напряжения в пределах поддиапазонов осуществляется переменным резистором R_{21}.

Напряжение пилообразной формы снимается с резисторов R_{20}, R_{21} и через резистор R_5, контакты переключателя B_1, конденсатор C_5 поступает на переменный резистор R_6, выполняющий роль регулятора усиления по горизонтали, а с него — на управляющую сетку лампы $Л_2$ усилителя горизонтального отклонения луча.

Напряжение синхронизации, необходимое для того, чтобы изображение исследуемого сигнала на экране трубки было неподвижным, подается на сетку правого триода лампы $Л_3$. В цепи синхронизации установлен переключатель B_3, позволяющий синхронизировать частоту генератора развертки либо исследуемым сигналом, поступающим с анода лампы $Л_1$ через конденсатор C_2 и резистор R_{11}, либо внешним сигналом, подаваемым на гнездо *Внешняя синхронизация*.

Ранее говорилось, что при прямом ходе пилообразного напряжения электронный луч отклоняется от одного края экрана к другому, а при обратном — возвращается в исходное положение. Очевидно, что изображение исследуемого сигнала будет наблюдаться как при прямом, так и при обратном ходе развертки. Это затрудняет работу с прибором, поэтому электронный луч на время обратного хода развертки выключают (запирают). В описываемом осциллографе это осуществляется положительными импульсами, возникающими в катодной цепи правого триода лампы $Л_3$ во время обратного хода развертки. Эти импульсы через конденсатор C_{19} подаются на катод электронно-лучевой трубки и гасят электронный луч на время заряда конденсаторов C_{12}—C_{17}.

Питается осциллограф от отдельного блока питания, состоящего из трансформатора $Тр_1$, двух выпрямителей и фильтров, сглаживающих пульсации выпрямленных напряжений. Выпрямитель для питания анодно-экранных цепей осциллографа выполнен по мостовой схеме на диодах $Д_4$—$Д_7$. Выпрямленное напряжение через П-образный фильтр, состоящий из конденсаторов C_{22}, C_{23} и дросселя $Др_1$, подается на осциллограф через контакты *2* и *3* разъема *Ш1*.

Выпрямитель, питающий узел электронно-лучевой трубки, собран по однополупериодной схеме на диодах $Д_1$—$Д_3$. Сглаживание пульсаций осуществляется фильтром $C_{20}R_{25}C_{21}$. Напряжение питания трубки по-

Рис. 80.

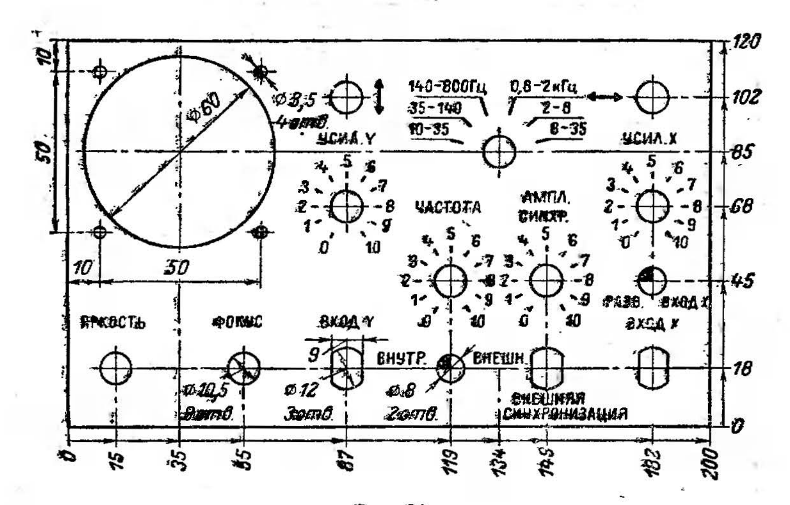


Рис. 81.

ступает через контакты *1* и *2* $Ш_1$. Для регулирования яркости электронного луча служит переменный резистор R_{19}, для его фокусировки — резистор R_{18}. Перемещение луча в вертикальном направле-

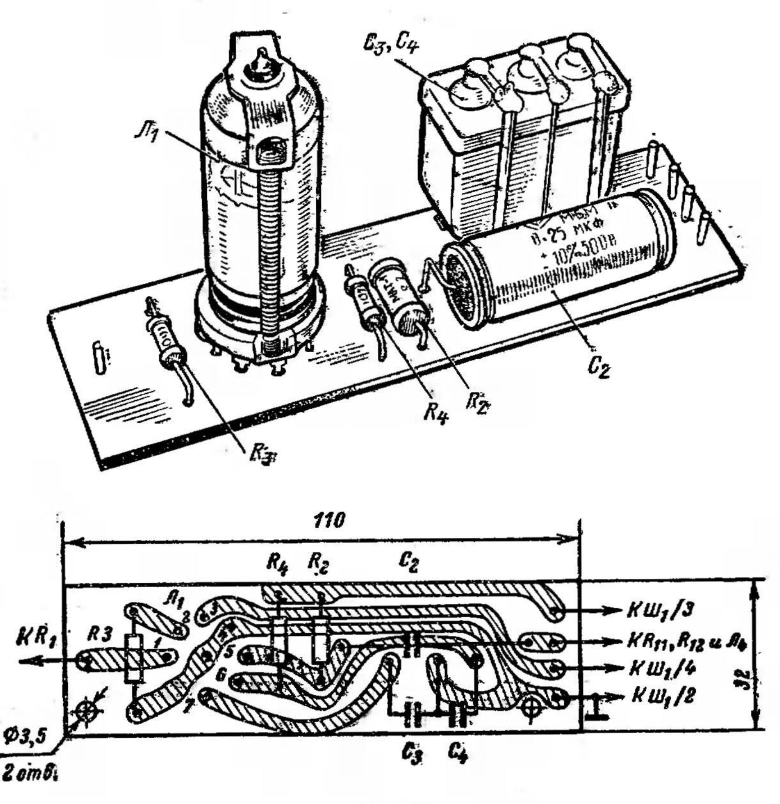


Рис. 82.

нии осуществляется переменным резистором R_{13}, в горизонтальном — резистором R_{16}. Резисторы R_{12} и R_{17} предотвращают замыкание отклоняющих напряжений на общий провод через конденсаторы C_9 и C_{11}.

Конструкция и детали. Как и описанные ранее приборы лаборатории, осциллограф смонтирован в корпусе, состоящем из двух П-образных деталей (рис. 80). Основание корпуса *1* изготовлено из алюминиевого сплава АМцА-II толщиной 1,5 мм, крышка *2* — из того же материала толщиной 1 мм. Длина крышки этого прибора взята несколько большей, чем длина основания (она выступает за плоскости его передней и задней стенок на 5 мм). К основанию корпуса крышка крепится винтами М3×6, ввинченными в резьбовые отверстия угольников *3*. На передней стенке основания (ее разметка показана

C12
C19
C14
C13
C15
Л3
R22
R5
R24
C17
C16
R20

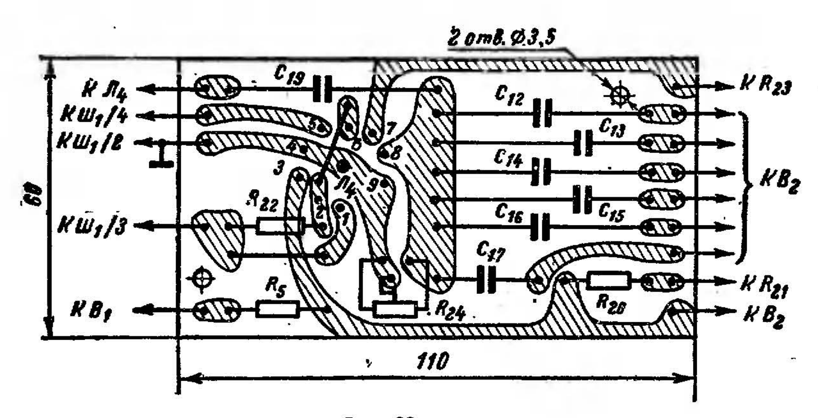

2 отв. Ø3,5
К Л4
КШ1/4
КШ1/2
КШ1/3
К В1
C19
C12
C13
C14
C15
C16
C17
R22
R5
R24
R26
Л4
К R23
К В2
К R21
К В2
60
110

Рис. 83.

на рис. 81) закреплены переменные резисторы R_1, R_6, R_{13}, R_{16}, R_{18}, R_{19}, R_{21} и R_{23}, переключатели B_1—B_3, гнезда $Гн_1$—$Гн_3$, индикаторная лампочка $Л_5$ и обрамление электронно-лучевой трубки $Л_4$, на задней — штепсельная часть разъема *Ш1*. Остальные детали осциллографа смонтированы на четырех печатных платах, изготовленных из фольгированного гетинакса толщиной 1,5 мм. На первой из них (рис. 82) размещен усилитель канала вертикального отклонения лу-

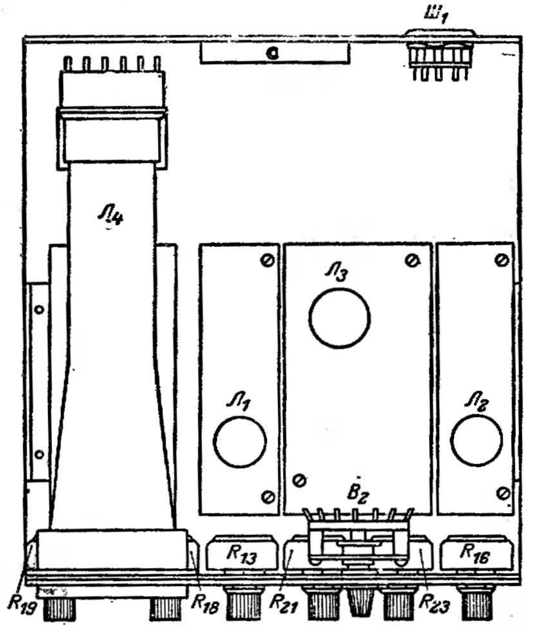


Рис. 84.

ча, на второй (такой же) — усилитель канала горизонтального отклонения, на третьей (рис. 83) — генератор развертки, на четвертой — детали узла трубки (резисторы R_{11}, R_{12}, R_{14}, R_{15}, R_{17}, конденсаторы C_9—C_{11}). Платы закреплены на нижней стенке основания корпуса с помощью винтов М3×6 и резьбовых стоек высотой 10 мм. Такими же винтами стойки крепятся к основанию корпуса. Панель электронно-лучевой трубки закреплена на нижней стенке основания с помощью Г-образного кронштейна. Размещение деталей в корпусе осциллографа показано на рис. 84.

Надписи, поясняющие назначение гнезд и органов управления, нанесены на полосках плотной бумаги и прикрыты сверху прозрачной накладкой из органического стекла толщиной 2 мм.

Детали блока питания смонтированы в отдельном корпусе, имеющем такую же конструкцию, что и сам осциллограф. Блоки соединяются между собой шестипроводным кабелем, оканчивающим-

ся штепсельным разъемом. В качестве разъема использованы панель и октальный цоколь негодной радиолампы.

В осциллографе применены постоянные резисторы МЛТ-0,5, МЛТ-1 и МЛТ-2, переменные резисторы СП-I, микротумблеры МТ-1 (B_1 и B_3), переключатель ПГК на 1 направление и 6 положений (B_2), лампочка накаливания на 13,5 В ($Л_5$), коаксиальные разъемы СР-50-74Ф (их можно заменить гнездами для подключения телевизионной антенны), конденсаторы КСО (C_{16}, C_{17}), МБГО (C_3, C_4, C_7, C_8, C_{12}, C_{20}, C_{21}), МБМ (C_1, C_2, C_5, C_6, C_{13}—C_{15}), КЭ-1 (C_{10}, C_{22} и C_{23}) и БМТ (остальные).

Трансформатор питания $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин УШ-26, толщина набора 30 мм. Обмотка *I* содержит 1540 витков провода ПЭВ-2 0,31; обмотка *II* — 3500 витков провода ПЭВ-2 0,1; обмотка *III* — 2100 витков провода ПЭВ-2 0,13, обмотки *IV* и *V* — по 44 витка провода ПЭЛ 0,86 и ПЭЛ 0,59 соответственно. Дроссель фильтра $Др_1$ намотан на сердечнике сечением 3,6 см^2 (Ш18×20 мм) проводом ПЭЛ 0,2 до заполнения каркаса обмотки.

Налаживание осциллографа начииают с проверки работы узла трубки. Для этого, не вставляя в панели лампы $Л_1$—$Л_3$, подключают к осциллографу блок питания. Движки переменных резисторов R_{13}, R_{16}, R_{18} и R_{19} устанавливают в средние положения и включают питание. На экране трубки должна появиться светящаяся точка, яркость которой изменяется при повороте оси переменного резистора R_{19}, а фокусировка — при повороте оси резистора R_{18}. Чтобы не прожечь экран, яркость луча при дальнейшем налаживании следует поддерживать минимальной. Возможность перемещения луча в вертикальном и горизонтальном направлениях проверяют, вращая оси переменных резисторов R_{13} и R_{16}. Убедившись в нормальной работе этого узла осциллографа, вставляют на место лампы $Л_2$ и $Л_3$ и переводят переключатель B_1 в положение, показанное на схеме. После прогрева ламп на экране осциллографа должна появиться прямая горизонтальиая линия развертки, длина которой изменяется при повороте оси переменного резистора R_6. Работу генератора развертки проверяют на всех поддиапазонах, переводя переключатель B_2 из одного положения в другое. Для подгонки граничных частот развертки и проверки формы пилообразного напряжения необходимы другой осциллограф и генератор звуковой частоты. Пилообразное напряжение снимают с катода левой половины лампы $Л_3$ и через конденсатор емкостью 0,1—0,5 мкФ подают на вход канала горизонтального отклонения контрольного осциллографа (при выключенной развертке), а вход канала вертикального отклонения контрольного осциллографа соединяют со звуковым генератором Установив переключатель B_2 в положение, соответствующее первому диапазону, движок переменного резистора R_{21} — в нижнее (по схеме) положение, изменяют частоту звукового генератора так, чтобы на экране осциллографа появилось изображение одного периода его колебаний. Это свидетельствует о том, что частоты колебаний генератора развертки и генератора звуковой частоты примерно равны. Затем движок переменного резистора R_{21} переводят в верхнее (также по схеме) положение и, изменяя частоту звукового генератора, также добиваются получения на экране контрольного осциллографа неподвижного изображения одного периода колебаний. Частоты, отсчитанные по шкале звукового генератора, и являются граничными для первого поддиапазона. Если звуковой генератор не обеспечивает частоты 10 Гц, то при определении границы первого поддиапазона развертки на экране

контрольного осциллографа следует получить изображение двух или трех полных периодов колебаний звукового генератора, разделив затем частоту, отсчитанную по его шкале, на число периодов. Аналогично измеряют граничные частоты и остальных поддиапазонов. Нужные границы устанавливают подбором резистора R_{20} (на одном из поддиапазонов) и конденсаторов C_{12}—C_{17}.

После этого включают развертку контрольного осциллографа и на вход канала вертикального отклонения подают (отключив предварительно звуковой генератор) пилообразное напряжение с катода левой половины лампы $Л_3$.. Получив на экране контрольного осциллографа 1,5—2 периода колебаний генератора развертки налаживаемого прибора, изменяют сопротивление переменного резистора R_{24} так, чтобы при хорошей линейности пилообразного напряжения время обратного хода было возможно меньшим.

В последнюю очередь проверяют частотную характеристику канала вертикального отклонения. Для этого переключатель B_1 переводят в положение *Вход X*, B_2 — в положение первого поддиапазона (по схеме — верхнее), B_3 — в положение, показанное на схеме, и вставляют на место лампу $Л_1$. На вход Y от вспомогательного генератора подают колебания частотой от 20—30 Гц до 100 кГц. С помощью регулятора усиления налаживаемого осциллографа (резистор R_1) и регулятора выходного напряжения генератора подбирают такой сигнал на входе, при котором размах (двойная амплитуда) синусоиды на экране трубки составляет 30—40 мм. Изменяя частоту сигнала в указанных выше пределах и поддерживая входное напряжение неизменным (это можно делать, контролируя его либо по высокочастотному вольтметру, подключенному параллельно входу Y, либо с помощью другого осциллографа, имеющего полосу пропускания примерно до 1 МГц), наблюдают за размахом сигнала на экране налаживаемого осциллографа. При нормальной работе канала вертикального отклонения размах сигнала при крайних значениях частоты не должен заметно падать. Аналогично проверяют частотную характеристику усилителя канала горизонтального отклонения. Чувствительность канала вертикального отклонения измеряют следующим образом. Установив движок резистора R_1 в положение максимального усиления, на вход канала подают переменное напряжение частотой 1000 Гц и регулятором выхода генератора так подбирают его значение, чтобы размах сигнала на экране трубки был равен 28 мм (10 мм в среднеквадратическом значении). Деля это отклонение на среднеквадратическое значение напряжения на входе, получим чувствительность канала вертикального отклонения в мм/В. Например, если выходное напряжение, измеренное вольтметром переменного тока, равно 0,1 В, то чувствительность канала вертикального отклонения равна 10/0,1 = 100 мм/В.

Чувствительность канала желательно измерить при всех оцифрованных положениях ручки регулятора усиления, а для удобства отсчета размаха сигнала на экран трубки наложить прозрачную сетку с шагом 5 мм.

При необходимости полосу пропускания каналов вертикального и горизонтального отклонения луча можно расширить до 500—600 кГц, включив в анодные цепи ламп $Л_1$ и $Л_2$ последовательно с резисторами R_2 и R_7 корректирующие высокочастотные дроссели индуктивностью 0,5—1,5 мГ. В этом случае целесообразно расширить и диапазон частот развертки, применив переключатель на большее число положений и подобрав емкости конденсаторов в катодных

цепях лампы $Л_3$. Для улучшения формы пилообразного напряжения на высоких частотах в анодную цепь правого (по схеме) триода лампы $Л_3$ также следует включить корректирующий дроссель индуктивностью 0,5—1,5 мГ.

Глава одиннадцатая

РАБОТА С ПРИБОРАМИ ЛАБОРАТОРИИ

Еще раз об электрических измерениях

Итак, измерительные приборы, описанные в этой книге, собраны и отрегулированы. Но ещё не все. Очень важно научиться правильно ими пользоваться. Каковы же эти правила? Покажем это на нескольких примерах, наиболее характерных для радиолюбительской практики.

Точность измерений. Как известно, измерить какую-либо электрическую величину абсолютно точно невозможно. Попробуйте, например, измерить несколько раз одно и то же напряжение одним и тем же вольтметром — результаты будут немного различными. Происходит это потому, что градуировка прибора не остается постоянной (пусть даже в небольших пределах), условия измерений хотя и незаметно, но все же разнятся, да и человек, производящий измерения, каждый раз отсчитывает показания прибора чуть-чуть иначе.

Величина ΔA, на которую результат измерения A отличается от действительного значения измеренной величины A_0, определенной по образцовому (эталонному) прибору, называется абсолютной погрешностью измерения. Например, если при измерении напряжения $U_0=10$ В получен результат измерений $U=9{,}9$ В, то абсолютная погрешность измерения равна —0,1 В.

Однако абсолютная погрешность еще не определяет действительной точности измерений. В самом деле, погрешность, равная —0,1 В, может быть вполне допустима при измерении напряжения 10 В, но чрезмерно велика при измерении напряжения 1 В. Поэтому точность измерений принято оценивать относительной погрешностью, которая численно равна отношению абсолютной погрешности к измеренному значению, выраженному в процентах:

$$\delta=\frac{\Delta A}{A}\cdot 100\%.$$

В рассмотренном выше примере

$$\delta=\frac{-0{,}1\ \text{В}}{10\text{В}}\cdot 100\%=-1\%.$$

Для большинства стрелочных измерителей абсолютную погрешность для всех точек шкалы можно считать практически одинаковой, а относительная погрешность (это нетрудно видеть из формулы) возрастает от конца к началу шкалы. Поэтому при работе с приборами, отсчетным устройством которых является стрелочный измеритель тока (авометр, вольтметры постоянного и переменного тока), следует выбирать такой предел измерения, при котором стрелка измерителя отклоняется более чем наполовину шкалы (лучше всего, если отсчет производится в последней трети шкалы).

Погрешность, возникающую в нормальных условиях работы измерительного прибора, т. е. таких же, в которых производилась его градуировка, называют основной. При изменении этих условий появляются так называемые дополнительные погрешности. Так, изменение температуры окружающей среды приводит к изменению сопротивления дополнительных резисторов в вольтметре, шунтов в амперметре, изменению параметров транзисторов и т. д. Вызываемая этим погрешность называется температурной. В комнатных условиях эта погрешность мала, но если измерения приходится вести на открытом воздухе в разное время года, она заметно возрастает.

При измерениях на переменном токе появляются дополнительные погрешности, зависящие от таких параметров измеряемых величин, как частота, форма колебаний и т. д. Например, при измерении переменного напряжения, частота которого отличается от той, на которой он градуировался, возникает частотная погрешность.

Уменьшение дополнительных погрешностей достигается правильным выбором схемы измерительного прибора, применением высокостабильных электро- и радиоэлементов, принятием специальных мер, уменьшающих влияние температуры, стабилизацией питающих напряжений, экранированием приборов и т. д.

Точность, с которой необходимо измерять ту или иную электрическую величину, определяется в первую очередь влиянием погрешности ее измерения на нормальную работу исследуемого или создаваемого прибора. Например, известно, что изменение режима работы транзистора в пределах 3—5% практически не сказывается на нормальной работе каскада. Следовательно, и нет особой необходимости измерять токи и напряжения в цепях этого каскада с точностью, превышающей те же 3—5%. Приборы, описанные в этой книге, в основном обеспечивают такую точность измерений.

Измерение токов. Включение измерительного прибора в проверяемую электрическую цепь в той или иной степени изменяет режим работы этой цепи и порождает погрешности измерения.

В самом деле, миллиамперметр, используемый для измерения тока, обладает определенным внутренним сопротивлением, и тем большим, чем на меньший предел измерений он включен. Включение такого прибора в проверяемую цепь увеличивает ее сопротивление, поэтому ток в цепи уменьшается. Другими словами, миллиамперметр показывает ток, меньший того, который на самом деле течет в проверяемой цепи. Если проверяемая цепь высокоомная, включение миллиамперметра, внутреннее сопротивление которого относительно невелико, незначительно изменяет сопротивление цепи, поэтому вызванная его включением погрешность измерения тока невелика. Но если цепь низкоомная (т. е. не содержит больших сопротивлений), то результат измерений будет далек от истинного. Для измерения тока в такой цепи необходим прибор с возможно меньшим внутренним сопротивлением, что зависит в основном от $R_и$ использованного в нем стрелочного измерителя.

Таким образом, можно сделать следующий важный вывод: влияние миллиамперметра на ток в проверяемой цепи (т. е. погрешность измерения тока в ней) тем меньше, чем меньше внутреннее сопротивление прибора и его доля в общем сопротивлении цепи.

Измерение напряжений. Вольтметр, как уже говорилось в гл. 1, подключают параллельно тому участку цепи, на котором хотят измерить падение напряжения. Но вольтметр также обладает некоторым, вполне определенным входным сопротивлением. Это сопротив-

ление тем больше, чем больший выбран предел измерений. Но каким бы большим оно ни было, подключение вольтметра уменьшает сопротивление проверяемого участка цепи и тем самым снижает падение напряжения на нем.

Большинство цепей радиотехнической аппаратуры сравнительно высокоомные, поэтому измерять напряжения в них можно только вольтметрами с относительным входным сопротивлением не менее 5—10 кОм/В. В противном случае вольтметр покажет значительно меньшее напряжение, чем было в цепи до его подключения. Так, например, если сопротивление проверяемой цепи $R=50$ кОм, то подключение параллельно ей вольтметра с относительным входным сопротивлением 1 кОм/В, включенным на предел измерений 100 В, равносильно подключению к цепи сопротивления R_v, равного 100 кОм. В результате общее сопротивление цепи уменьшится до значения

$$R_{общ} = \frac{R \cdot R_v}{R + R_v} = \frac{50 \cdot 100}{50 + 100} = 33{,}3 \text{ кОм}.$$

К чему это может привести? Если, например, до подключения вольтметра ток в цепи создавал падение напряжения U', равное 70 В (при этом ток $I = U/R = 70/50000 = 0{,}0014$ А), то после подключения прибора падение напряжения уменьшится (при том же токе) и будет:

$$U' = I \cdot R_{общ} = 0{,}0014 \cdot 33300 = 46{,}62 \text{ В}.$$

Вот эти-то 46,62 В (вместо 70 В) и покажет вольтметр с относительным входным сопротивлением, равным 1 кОм/В, на пределе 100 В. Ошибка в измерениях, как видно из примера, очень велика. Если же падение напряжения в этой цепи измерить вольтметром с относительным входным сопротивлением 10 кОм/В (предел измерений тот же, т. е. 100 В), то он покажет напряжение 66,7 В. Это уже сравнительно близко к истине. Напомним, что именно такое относительное входное сопротивление имеет вольтметр авометра, описанного в гл. 2, поэтому им можно измерять напряжения во многих цепях ламповой и транзисторной радиоаппаратуры.

Еще меньше погрешность измерений при использовании транзисторного вольтметра постоянного тока, относительное входное сопротивление которого равно 100 кОм/В. Он покажет в тех же условиях напряжение 69,6 В.

Учитывая сказанное о влиянии измерительного прибора на измеряемые величины, рассмотрим несколько наиболее характерных примеров измерений из радиолюбительской практики. В описаниях любительских и промышленных конструкций чаще всего указываются напряжения на электродах ламп и транзисторов. Схемы измерений напряжений на электродах транзисторов разной структуры показаны на рис. 85, *а* и *б*. Сопротивления нагрузочных резисторов в коллекторных цепях $R_к$ обычно не превышают нескольких килоом. Но это вовсе не значит, что напряжения на электродах транзисторов можно измерять низкоомными вольтметрами. Дело в том, что эти напряжения невелики, поэтому вольтметр приходится переключать на низкие пределы измерений, где входное сопротивление может оказаться лишь ненамного больше сопротивления контролируемой цепи. Во всяком случае, чтобы погрешность измерений была не очень велика, следует использовать вольтметр с относительным входным сопротивлением не менее 10 кОм/В.

Напряжения в цепях транзисторной аппаратуры можно измерить и косвенным способом. Предположим, например, что возникла необходимость проверить напряжение на коллекторе транзистора, а подходящего прибора, т. е. вольтметра с нужным относительным входным сопротивлением, нет. Тогда вначале определяют ток через транзистор: $I=U_э/R_э$, где $U_э$ — напряжение на резисторе $R_э$, измеренное вольтметром с относительным входным сопротивлением 3—5 кОм/В. Напряжение $U_к$ в этом случае рассчитывают по формуле $U_к=U_{пит}-I\cdot R_к-U_э$.

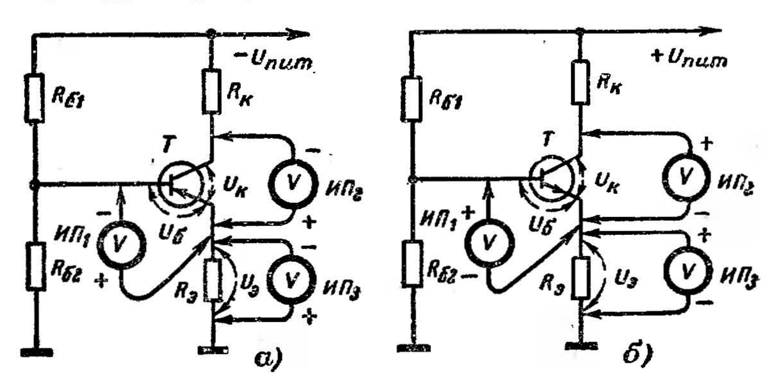


Рис. 85.

Значительно большее влияние оказывают измерительные приборы на режим работы радиоаппаратуры по переменному току. Например, если миллиамперметр включить между коллектором транзистора и высокочастотным контуром (рис. 86, *а*), то через прибор и соединительные проводники пойдут обе составляющие коллекторного тока — постоянная и переменная. Сам прибор магнитоэлектрической системы не будет реагировать на переменную составляющую, но вместе с соединительными проводниками он может создать условия для возникновения (из-за паразитной емкостной связи по высокой частоте между коллекторной и базовой цепями) самовозбуждения проверяемого каскада. В результате режим работы транзистора значительно изменится и показания миллиамперметра не будут соответствовать истинному значению тока в коллекторной цепи. Чтобы этого не случилось, миллиамперметр следует включать в том участке коллекторной цепи, где уже нет высокочастотной составляющей (рис. 86, *б*), в нашем примере — после конденсатора $C_р$ развязывающего фильтра, замыкающего эту составляющую коллекторного тока на общий провод («землю») устройства. Если такого фильтра в устройстве нет, то на время измерений прибор необходимо шунтировать конденсатором емкостью 0,1—0,5 мкФ. Если этого окажется недостаточно для срыва самовозбуждения (паразитную связь можно обнаружить по изменению показаний прибора при перемещении соединительных проводников), то базу транзистора проверяемого каскада необходимо соединить с общим проводом конденсатором емкостью 0,01—0,05 мкФ.

Вольтметр постоянного тока также надо подключать к тем точкам цепей, где отсутствует переменная составляющая, и если надо, шунтировать сам прибор конденсатором.

Все сказанное здесь относительно устройств на транзисторах относится и к ламповым конструкциям. Схема измерения напряжений на электродах электронной лампы показана на рис. 87. Напряжение на аноде триода $U_а$ можно измерить вольтметром с относительным

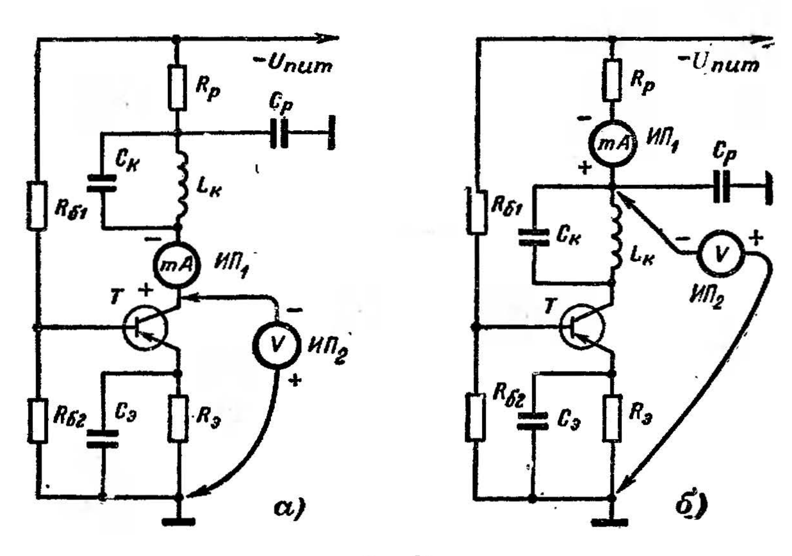


Рис. 86.

входным сопротивлением 1—5 кОм/В. Погрешность измерения будет невелика. Но если таким вольтметром измерять напряжение на аноде пентода, обладающего большим внутренним сопротивлением (несколько сотен килоом), то погрешность измерения значительно возрастает, так как входное сопротивление вольтметра оказывается соизмеримым с внутренним сопротивлением пентода.

Поэтому для измерения напряжений на анодах и экранирующих сетках тетродов и пентодов следует использовать вольтметры с относительным входным сопротивлением не менее 10—20 кОм/В. Этому требованию полностью отвечают авометр и вольтметр постоянного тока, описанные в этой книге.

Сложнее измерить напряжение смещения на управляющей сетке электронной лампы. Дело в том, что если вольтметр включить непосредственно между сеткой и катодом лампы (рис. 87), то он зашунтирует резисторы $R_с$ и $R_к$. Сопротивление первого из них обычно большое (470 кОм — 1 МОм), а входное сопротивление вольтметра на пределе измерений 5—10 В едва составит половину общего сопротивления между точками подключения прибора. Напряжение на участке сетка — катод резко снизится, и ошибка измерения при таком включении вольтметра будет очень большой.

Однако измерить напряжение смещения можно не только непосредственно на сетке лампы, но и на резисторе $R_к$, на котором создается это напряжение. Сопротивление этого резистора редко превышает 1 кОм, поэтому достаточно точно измерить напряжение на нем можно даже сравнительно низкоомным вольтметром.

При измерении переменных напряжений как в транзисторной, так и в ламповой аппаратуре вольтметр следует подключать к измеряемой цепи через керамический, слюдяной или бумажный конденсатор, чтобы не пропустить к прибору постоянную составляющую тока. Емкость конденсатора должна быть тем больше, чем ниже частота тока. При измерениях в цепях тракторов НЧ она должна составлять 0,5—1,0 мкФ.

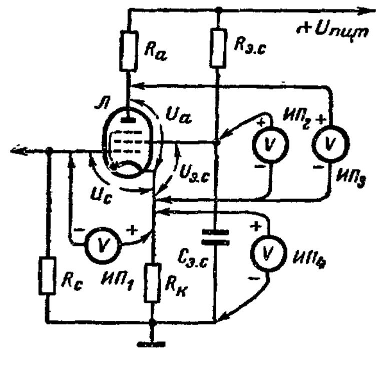


Рис. 87.

При измерениях переменных напряжений и токов весьма важно помнить о следующем. Если постоянные напряжение и ток вполне характеризуются некоторым одним числовым значением, например напряжение 5 В, ток 8 мА, то переменные напряжение и ток произвольной формы одним числовым значением полностью описать невозможно. Поэтому наиболее часто используются три следующих значения переменных напряжений (токов): максимальное, средневыпрямленное и среднеквадратическое.

Максимальное — это наибольшее мгновенное значение сигнала на протяжении заданного интервала времени. При синусоидальной форме напряжения (тока) его называют амплитудным значением или просто амплитудой. Его важно знать, например, для оценки электрической прочности изоляции и в ряде других случаев.

Средневыпрямленное — это среднее значение сигнала после полного выпрямления. Для напряжений и токов симметричной формы (например, синусоидальных) его можно определить как среднее арифметическое мгновенных значений за положительный полупериод. Знать это значение важно, например, при проектировании устройств для зарядки аккумуляторов.

Среднеквадратическое (эффективное) значение переменного тока (напряжения) численно равно такому постоянному току (напряжению), который создает в соответствующих условиях равный энергетический (например, тепловой) эффект. Это значение иногда называют действующим. Если в тексте или на схеме указывают числовое значение переменного тока (напряжения), не оговаривая его специально, то обычно имеют в виду среднеквадратическое значение.

Полезно помнить, что максимальное значение не может быть меньше среднеквадратического, а среднеквадратическое — средневыпрямленного. Если ток имеет синусоидальную форму, то максимальное, среднеквадратическое и средневыпрямленное значения относят-

ся друг к другу как 1,41 : 1,0 : 0,9. Если ток имеет пилообразную (треугольную) форму, то те же значения относятся друг к другу как 1,73 : 1,0 : 0,86. Если форма сигнала симметричная прямоугольная, то все три значения равны друг другу.

Вольтметр переменного тока авометра и транзисторный вольтметр переменного тока, описанные в гл. 2 и 4, являются приборами выпрямительной системы и реагируют на средневыпрямленное значение переменного напряжения. Но шкалы этих вольтметров проградуированы в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы. Поэтому если возникает необходимость оценить амплитудное значение синусоидального напряжения, то показание вольтметра надо умножить на 1,41, а для оценки средневыпрямленного значения — на 0,9.

Если измеряемое переменное напряжение имеет симметричную прямоугольную форму, то, чтобы найти максимальное, средневыпрямленное или среднеквадратическое значение этого напряжения, показания вольтметров лаборатории надо умножить на 0,9.

Если измеряемое переменное напряжение имеет пилообразную форму, то для получения средневыпрямленного значения такого напряжения показание вольтметра надо умножить на 0,9. Если же нужно узнать максимальное значение напряжения, то показание вольтметра нужно умножить на 1,8, а для получения среднеквадратического значения — на 1,04.

Измерение сопротивлений. Особых трудностей здесь нет. Надо только помнить, что при измерении высокоомных резисторов нельзя касаться пальцами обоих выводов, иначе омметр покажет сопротивление меньше фактического — скажется электрическая проводимость кожи.

Сложнее измерить сопротивление резистора, вмонтированного в приемник, усилитель или иное радиотехническое устройство. При таких измерениях питание конструкции должно быть выключено и конденсаторы, особенно электролитические, разряжены, иначе будут значительные погрешности в измерениях и омметр может испортиться. Далее надо по принципиальной схеме проследить, не подключены ли параллельно измеряемому резистору другие резисторы, обмотки трансформаторов, дроссели, катушки индуктивности или другие детали, так как в этом случае омметр будет измерять сопротивление не одного резистора, а общее сопротивление сложной цепи.

В большинстве случаев для измерения сопротивления резистора или иной детали, вмонтированной в конструкцию, приходится выпаивать их полностью или отпаивать хотя бы один из выводов.

Измерения с помощью осциллографа. Наиболее простой вид измерений с помощью осциллографа — это измерение напряжений. Исследуемое напряжение подают на *Вход Y* осциллографа и ручку регулятора усиления устанавливают в одно из оцифрованных положений, при котором размах сигнала занимает большую часть экрана. Для определения исследуемого напряжения по сетке, установленной на экране осциллографа, отсчитывают размах сигнала в миллиметрах и делят его на чувствительность канала, соответствующую данному положению ручки регулятора усиления. Например, если ручка регулятора усиления установлена в положение, соответствующее чувствительности 50 мВ, а размах сигнала составляет 40 мм, то это значит, что измеряемое напряжение равно $\frac{40}{50\cdot2,8}=0,29$ В (среднеквадратическое значение).

Несколько сложнее измерить с помощью осциллографа ток в какой-либо цепи. Дело в том, что осциллограф реагирует только на напряжение, подаваемое на отклоняющие пластины. Поэтому при измерении тока поступают следующим образом. В проверяемую цепь последовательно включают резистор. Протекая по нему, ток создает на нем некоторое падение напряжения, которое уже можно измерить описанным выше способом. Если это напряжение известно, то ток в цепи можно узнать, разделив напряжение на сопротивление включенного в цепь резистора. Следует учесть, что такой расчет

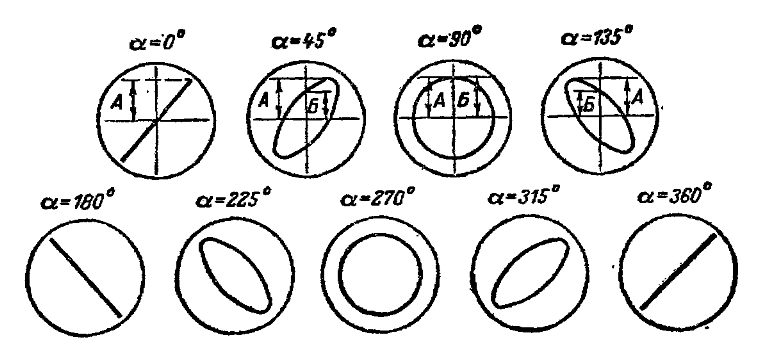


Рис. 88.

верен только на сравнительно низких частотах (до десятков килогерц), где еще не сказывается влияние емкости и индуктивности соединительных проводов, резистора и входной емкости осциллографа. Сопротивление резистора выбирают небольшим, если ток в цепи велик, и большим, если ток мал, т. е. стараются свести к минимуму влияние резистора на ток в цепи.

Таким же способом измеряют мощность, рассеиваемую на каком-либо элементе цепи, сопротивление R которого известно. Определив напряжение U на этом элементе, мощность рассчитывают по формуле $P=U^2/R$.

С помощью осциллографа нетрудно измерить фазовый сдвиг между двумя напряжениями или токами синусоидальной формы. Для этого одно из исследуемых напряжений подают на вход Y, другое на вход X и уравнивают (с помощью регуляторов усиления) их амплитуды. При этом на экране осциллографа будет наблюдаться одна из фигур Лиссажу: наклонная прямая, окружность или эллипс — в зависимости от фазового сдвига исследуемых напряжений. Фигуры Лиссажу, соответствующие фазовому сдвигу, кратному 45°, показаны на рис. 88. Промежуточные значения фазового сдвига легко определить по формуле $\sin\alpha=\pm Б/А$. Размеры $А$ и $Б$ указаны на рисунке.

Если на входы горизонтального и вертикального отклонения луча подать синусоидальные сигналы разных частот, то при определенных соотношениях частот на экране осциллографа появится более сложная фигура Лиссажу, по виду которой можно определить их соотношение. Обычно сигналы известной частоты подают на вход X, а неизвестной — на вход Y. При измерении стараются, изменяя час-

тоту сигнала, подаваемого на вход X, получить как можно более простую фигуру, так как это позволяет избежать ошибок при расшифровке осциллограмм. Расшифровывают осциллограмму так: подсчитывают число точек касания фигуры с вертикальной линией и число точек касания с горизонтальной, а затем делят эти числа одно на другое. Предположим, при измерении частоты мы получили фигуру, показанную на рис. 89. Выпуклые части фигуры касаются вертикальной линии в двух местах, а горизонтальной — в пяти. Следовательно, отношение частот исследуемого f_x и эталонного $f_э$ сигналов равно 5 : 2. Если частота эталонного сигнала равна 200 Гц и подан он на вход X, то частота исследуемого сигнала

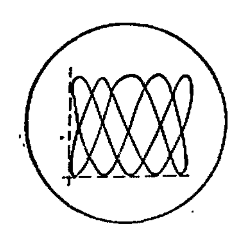


Рис. 89.

$$f_x = \frac{5 \cdot f_э}{2} = \frac{5 \cdot 200}{2} = 500 \text{ Гц}.$$

При измерениях низких частот (до 150—200 Гц) в качестве эталонного сигнала можно использовать напряжение частотой 50 Гц, сняв его с одной из накальных обмоток трансформатора питания.

Наиболее характерные фигуры Лиссажу для различных соотношений частот и при разном фазовом сдвиге показаны на рис. 90.

Измерение параметров усилителя низкой частоты

В конструкторской деятельности радиолюбителя усилитель низкой частоты (УНЧ) занимает, пожалуй, одно из первых мест. От УНЧ в значительной степени зависит качество звучания радиовещательного приемника, телевизора, магнитофона.

В описаниях УНЧ, предназначенных для электрофонов, магнитофонов, радиовещательных приемников, обычно указывают их номинальную выходную мощность, коэффициент гармоник, чувствительность и параметры частотной характеристики. По этим основным данным уже можно судить о качестве работы усилителя и пригодности его для тех или иных целей.

Напомним вкратце, что представляют собой упомянутые параметры усилителя низкой частоты.

Номинальная выходная мощность $P_{ном}$, выраженная в ваттах или милливаттах, это мощность, выделяемая на нагрузке (громкоговорителе), при которой нелинейные искажения усилителя соответствуют указанным в описании. При дальнейшем увеличении мощности нелинейные искажения значительно возрастают.

В процессе усиления любого, даже чисто синусоидального сигнала, из-за нелинейности характеристик транзисторов или электронных ламп в усиливаемом сигнале появляются колебания с частотой в 2, 3, 4 и более раз выше основной частоты, т. е. появляются вторая, третья и т. д. гармоники сигнала. Это и есть нелинейные или гармонические искажения, которые растут по мере увеличения выходной мощности усилителя. Их оценивают коэффициентом гармоник. Мощность, при которой искажения (коэффициент гармоник) достигают 10%, принято называть максимальной $P_{макс}$ выходной мощностью УНЧ.

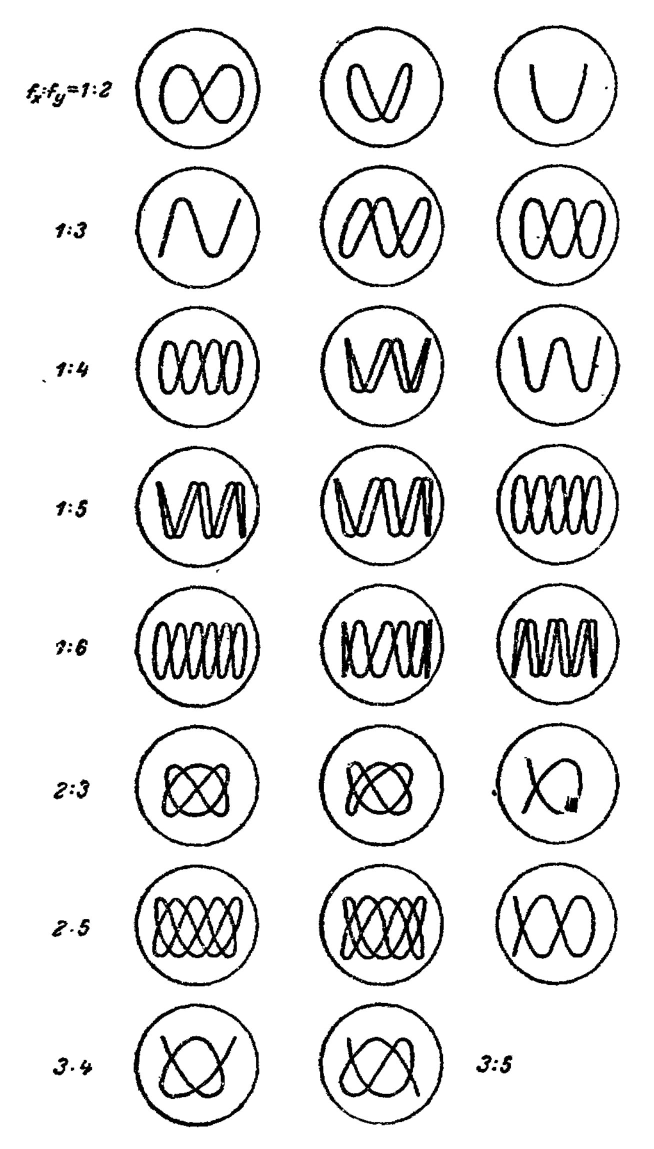


Рис. 90.

Коэффициент гармоник $K_г$, измеряемый при синусоидальном входном сигнале, можно выразить процентным отношением суммарного напряжения всех гармоник $U_г$ к выходному напряжению $U_{вых}$:

$$K_г \approx \frac{U_г}{U_{вых}} \cdot 100\%.$$

Допустимый $K_г$ устанавливается соответствующими нормами (ГОСТ). Например, для УНЧ радиоприемников, радиол, магнитол, электрофонов он может быть равен 5—7%, для бытовых магнитофонов 5%. Чем выше класс радиоаппаратуры, тем меньше должен быть ее $K_г$.

Чувствительность УНЧ — это то напряжение низкочастотного сигнала в милливольтах, которое необходимо подать на вход усилителя, чтобы получить на нагрузке номинальную выходную мощность. Чувствительность большинства усилителей, предназначенных для воспроизведения грамзаписи, составляет 100—200 мВ, а усилителей канала записи бытовых магнитофонов (измеренная с микрофонного входа) — 1—2 мВ.

Частотную характеристику усилителя выражают кривой зависимости напряжения выходного сигнала от его частоты (при неизменном напряжении входного сигнала $U_{вх}$). По ряду причин усилители НЧ неодинаково усиливают сигналы разных частот. Обычно хуже всего усиливаются колебания самых низших $f_н$ и самых высших $f_в$ частот, поэтому частотные характеристики усилителей неравномерны и имеют спады (или завалы) по краям диапазона. Крайние частоты, на которых наблюдается спад усиления на 30% (—3 дБ), считают границами полосы усиливаемых частот. Их-то и указывают в описаниях паспортных данных усилителя. Частотная характеристика или полоса усиливаемых частот усилителей НЧ сетевых радиоприемников может быть от 40—60 до 10 000 Гц и более, а усилителей малогабаритных транзисторных приемников — от 200 до 3500 Гц. Чем выше класс усилителя, тем шире должна быть полоса усиливаемых частот.

Вы изготовили УНЧ. Как с помощью приборов лаборатории измерить его основные параметры, чтобы сравнить их с заданными? Для этого потребуются: генератор НЧ, транзисторный вольтметр переменного тока и блок питания, причем приборы должны питаться от разных выпрямителей (исследуемый усилитель обычно имеет свой источник питания). Нужен еще эквивалент нагрузки $R_э$ — проволочный резистор, сопротивление которого равно полному сопротивлению звуковой катушки громкоговорителя, используемого в усилителе.

В комплекте приборов лаборатории нет измерителя коэффициента гармоник, редко применяемого радиолюбителями. Поэтому учет или оценку искажений приходится вести по упрощенной методике, пользуясь любым низкочастотным осциллографом, например описанным в гл. 10. В этом случае измерения начинают со снятия амплитудной характеристики усилителя — зависимости выходного напряжения $U_{вых}$ усиливаемого сигнала частотой 1000 Гц (1 кГц) от входного напряжения $U_{вх}$ при постоянной нагрузке $R_н = R_э$.

Схема соединения измерительных приборов с усилителем (УНЧ), амплитудную характеристику которого надо снять, изображена на рис. 91, *а* (цепи питания не показаны). Сигнал частотой 1000 Гц с выхода *1 : 10* генератора НЧ (ГНЧ) подают на вход усилителя

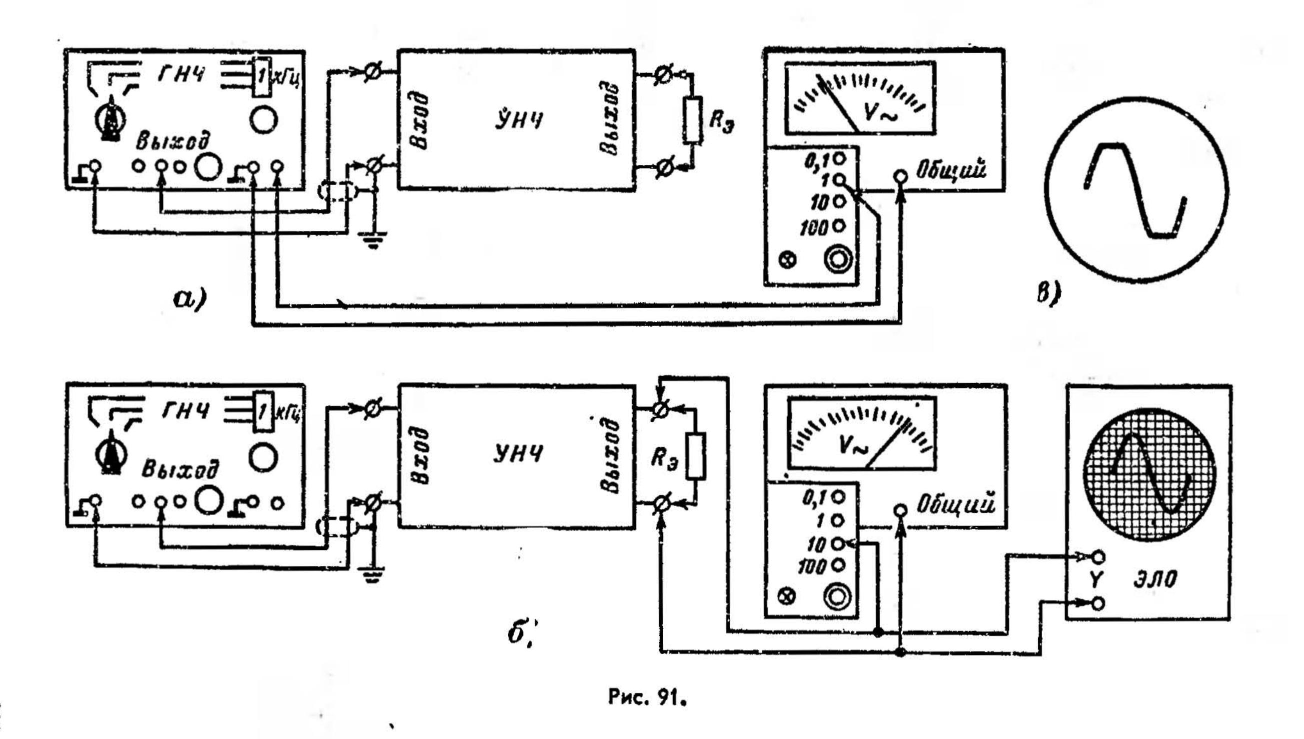

ГНЧ
1 кГц
Выход
Вход
УНЧ
Выход
$R_э$
V~
0,1
1
10
100
Общий
а)
в)
ГНЧ
1 кГц
Выход
Вход
УНЧ
Выход
$R_э$
V~
0,1
1
10
100
Общий
Y
ЭЛО
б)

Рис. 91.

через экранированный двухжильный кабель. Оплетку кабеля и одну из его жил заземляют на входе усилителя. Вольтметр подключают к гнездам *Контроль выхода* генератора и плавно увеличивают сигнал генератора до напряжения 0,3 В. При этом напряжение сигнала на входе усилителя будет 30 мВ. Измерив входное напряжение $U_{вх}$, вольтметр переключают на предел измерения 10 В, подключают к эквиваленту нагрузки $R_э$ (рис. 91, *б*) и измеряют выходное напряжение усилителя $U_{вых}$. Результаты измерений записывают в таблицу, образец которой здесь показан (табл. 1). Предположим,

Таблица 1

Амплитудиая характеристика усилителя
(условия измерения: $f_{изм}=1000$ Гц, $R_э=R_н=6{,}5$ Ом)

$U_{вх}$,мВ	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U_{вых}$,В	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	3,8	4,0	4,1

при входном напряжении 30 мВ вольтметр, подключенный к эквиваленту иагрузки $R_э$, показывает напряжение 1,2 В. В таблицу записывают: $U_{вх}=30$ мВ, $U_{вых}=1{,}2$ В. Затем входное напряжение увеличивают ступенями через 10 мВ (40 мВ, 50 мВ и т. д.), записывают результаты измерений в таблицу и наблюдают за кривой на экране осциллографа. И так до тех пор, пока не нарушится пропорциональность прироста выходного напряжения $U_{вых}$. При этом на экране осциллографа должно появнться заметное на глаз срезание «верхушек» синусоиды (рис. 91, *в*). Такое явление происходит из-за симметричного ограничения выходного сигнала и сопровождается ростом коэффициента гармоник примерно до 10%. Это означает, что достигнута максимальная мощность $P_{макс}$. Затем входной сигнал уменьшают до исчезновення заметных искажений синусоиды (рис. 91, *б*) и считают, что теперь усилитель отдает номинальную мощность $P_{ном}$. Выходные напряження, соответствующие $P_{макс}$ и $P_{ном}$, напрнмер 4,1 и 3,6 В, в таблице следует выделнть.

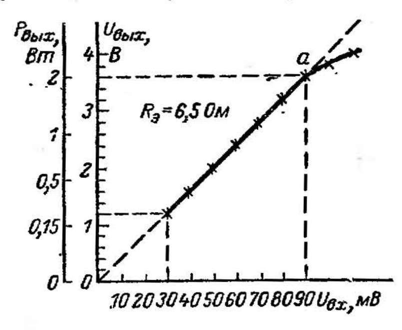


Рис. 92.

Теперь по результатам измерений, записанным в таблицу, строят амплитудную характеристнку усилителя (рис. 92). Для этого на горизонтальной оси вправо от нуля отмечают входные напряжения $U_{вх}$ в милливольтах, а на вертикальной оси вверх — выходные напряжения $U_{вых}$ в вольтах. Все измеренные значения $U_{вых}$ (при соответствующих значениях $U_{вх}$) отмечают на графике крестиками и через них проводят плавную линию. Эта линия до точки *а* прямолинейна, а затем заметно отклоняется вниз, что указынает на нарушение пропорциональности между $U_{вых}$ и $U_{вх}$ и появленне искажений.

Зиая напряжение $U_{вых}$ и сопротивление эквивалента нагрузки $R_э$, можно подсчитать выходную мощность $P_{вых}$ усилителя для раз-

личных значений $U_{вых}$ по формуле $P_{вых} = U_{вых}^2 / R_н$. Например, при $R_н = R_э = 6{,}5$ Ом и $U_{вых} = 1$ В $P_{вых} = 0{,}15$ Вт, при $U_{вых} = 1{,}8$ В $P_{вых} = 0{,}5$ Вт и т. д. На рис. 92 параллельно оси $U_{вых}$ проведена вторая вертикальная ось, на которой отмечены расчетные выходные мощности $P_{вых}$.

Перегиб амплитудной характеристики обычно соответствует номинальной мощности $P_{ном}$ усилителя, в нашем примере $P_{ном} = 2$ Вт, $P_{макс} = 2{,}5$ Вт. Если перегиб характеристики не явно выражен, его уточняют по осциллографу повторными измерениями. Затем берут среднее арифметическое $U_{вых}$, при котором искажения синусоиды на экране осциллографа становятся неразличимыми на глаз.

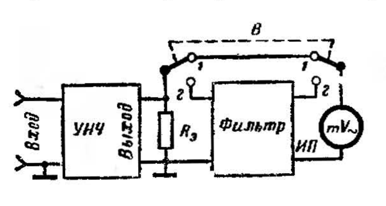


Рис. 93.

Численное значение коэффициента гармоник $K_г$ можно измерить с помощью заграждающего фильтра, настроенного на основную частоту 1000 Гц. Фильтр включают между выходом усилителя НЧ и вольтметром (рис. 93). Сначала измеряют $U_{вых}$, установив переключатель *В* в положение *1*. Предположим, что оно равно 3,6 В (3600 мВ). Затем включают фильтр, переведя переключатель *В* в положение *2*, и измеряют напряжение гармоник. Допустим, оно равно 72 мВ. После этого подсчитывают коэффициент гармоник по ранее приведенной приближенной формуле:

$$K_г \approx \frac{U_г}{U_{вых}} \cdot 100\% \approx \frac{72 \cdot 100}{3600} \approx 2\%.$$

Амплитудная характеристика (см. рис. 92) позволяет определить чувствительность усилителя. В самом деле, поскольку $U_{вх}$ при $P_{ном}$ равно 90 мВ, следовательно, чувствительность усилителя равна 90 мВ.

Частотную характеристику усилителя снимают при выходной мощности, значительно меньшей номинальной, что устраняет какие-либо перегрузки усилителя. Например, частотные характеристики усилителей промышленных приемников снимают при выходной мощности 50 и даже 5 мВт.

Если усилитель сравнительно простой и не имеет каких-либо регуляторов тембра, то регулятор громкости ставят на максимум и во время снятия частотной характеристики его положение не изменяют. При наличии тонкокомпенсированного регулятора громкости частотную характеристику снимают при крайних и нескольких других (по желанию конструктора) промежуточных положениях регулятора громкости.

Схема соединения приборов с усилителем для снятия частотной характеристики остается прежней (см. рис. 91). Исходная частота входного сигнала та же — 1000 Гц. Ручкой *Амплитуда* генератора устанавливают напряжение $U_{вх}$, равное 20 мВ, которое в дальнейшем поддерживают постоянным на всех частотах (это напряжение, почти в пять раз меньше номинальной чувствительности усилителя, выбирают для удобства отсчета результатов измерений по шкале стрелочного прибора авометра). Затем, переключив вольтметр на

Таблица 2

Частотная характеристика усилителя
(условия измерения: $U_{вх}$=20 мВ, $R_э$=6,5 Ом)

f, Гц	50	75	100	150	250	500	1000
$U_{вых}$, мВ	300	420	480	540	570	600	600
U_f/U_{1000}	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	1	1
U_f/U_{1000}, дБ	—6	—3	—2	—1	—0,5	0	0
f, кГц	1	2,5	5	7,5	10	15	20
$U_{вых}$, мВ	600	600	570	540	480	300	—
U_f/U_{1000}	1	1	0,95	0,9	0,8	0,5	—
U_f/U_{1000}, дБ	0	0	—0,5	—1	—2	—6	—

выход усилителя, измеряют напряжение на эквиваленте нагрузки $R_э$. Результаты измерений записывают в таблицу (табл. 2) в две строки: в первой — частоты f входного сигнала, во второй — выходные напряжения $U_{вых}$. Записав результаты измерений на частоте 1000 Гц, генератор НЧ переключают на частоту 500 Гц. Проверяют вольтметром входное напряжение и затем возможно точнее измеряют выходное напряжение усилителя на эквиваленте нагрузки $R_э$. Далее точно так же производят измерения на частотах 250, 150, 100, 75 и 50 Гц (любительские усилители на частоте 25 Гц обычно не проверяют). После этого проводят повторное контрольное измерение на частоте 1000 Гц для проверки стабильности работы усилителя и измерительных приборов.

Затем измерения производят на повышенных частотах, подавая на вход усилителя сигналы частотой 2,5; 5; 7,5; 10, 15 кГц (измерения на частоте 20 кГц производят лишь при проверке усилителей высшего класса). По результатам измерений рассчитывают отношения выходных напряжений разных частот U_f к напряжению контрольной частоты U_{1000}. Полученные отношения записывают в соответствующей строке таблицы.

Например, на частотах 50 Гц (U_{50}) и 15 кГц ($U_{15\,000}$) выходное напряжение $U_{вых}$=300 мВ. Следовательно, отношения U_{50}/U_{1000}= $=U_{15\,000}/U_{1000}$=300/600=0,5.

На частотах 100 Гц и 10 кГц имеем отношения 480/600=0,8, а на частотах 150 Гц и 7,5 кГц—540/600=0,9.

Пользуясь вспомогательной таблицей (табл. 3), эти отношения пересчитывают в децибелы (1 дБ=20lg U_f/U_{1000}) и результаты вписывают в нижнюю строку табл. 2.

Далее, имея все предварительные данные, приступают к вычерчиванию частотной характеристики усилителя (рис. 94). Обычно для этой цели применяют специальную логарифмическую бумагу, но можно воспользоваться любой бумагой в клетку или миллиметровкой. Сначала на горизонтальной оси наносят точки, соответствующие

Таблица 3

Перевод отношений $U_{вых}/U_{вх}$ в децибелы

$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ	$U_{вых}/U_{вх}$	дБ
1000	+60	4,0	+12	0,89	−1	0,20	−14
316	+50	3,5	+11	0,79	−2	0,18	−15
100	+40	3,2	+10	0,71	−3	0,16	−16
31,6	+30	2,8	+9	0,63	−4	0,14	−17
20,0	+26	2,5	+8	0,56	−5	0,126	−18
10,0	+20	2,2	+7	0,50	−6	0,112	−19
8,9	+19	2,0	+6	0,45	−7	0,100	−20
7,9	+18	1,8	+5	0,40	−8	0,050	−26
7,1	+17	1,6	+4	0,35	−9	0,03	−30
6,3	+16	1,41	+3	0,32	−10	0,01	−40
5,6	+15	1,26	+2	0,28	−11	0,003	−50
5,0	+14	1,12	+1	0,25	−12	0,001	−60
4,5	+13	1,00	0	0,22	−13	0,0003	−70

указаниым значениям частот (в логарифмическом масштабе). На этом рисунке верхний ряд цифр соответствует фиксированным частотам генератора НЧ лаборатории, а нижний ряд цифр соответствует

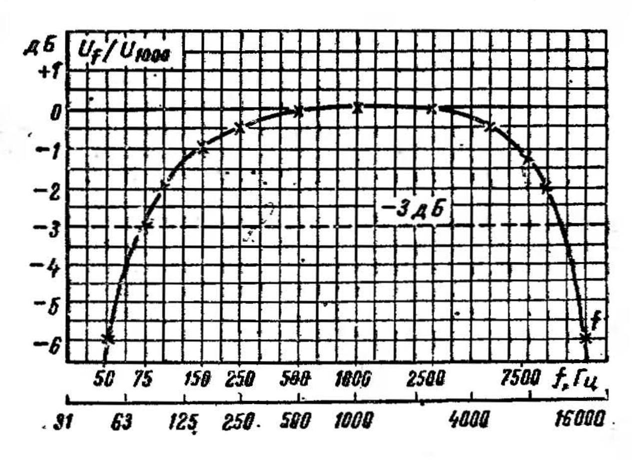


Рис. 94.

частотам, рекомендуемым ГОСТ при снятии характеристик с помощью промышленной измерительной аппаратуры.

Затем на вертикальной оси, предварительно сделав на ней 8—10 равноотстоящих друг от друга отметок, отмечают отношения U_f/U_{1000} в децибелах. В нашем примере уже измеренный спад (или завал) частотной характеристики не превышает 6 дБ, поэтому ну-

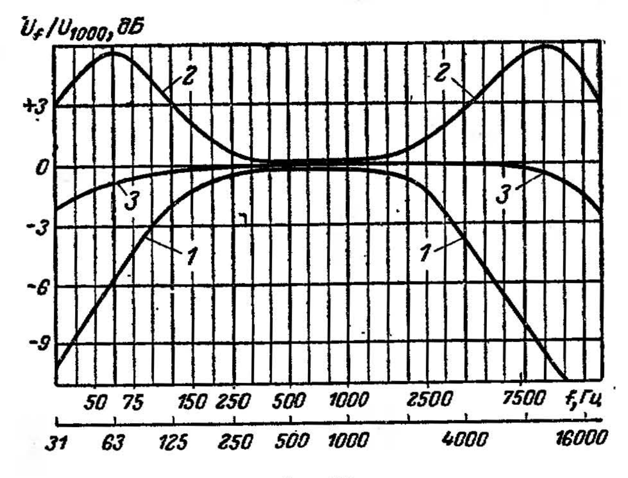


Рис. 95.

левую лииию проводят на уровне седьмой отметки и вниз от нее ставят цифры 0, —1, —2 ... —6 дБ. Проводят также линию контрольной частоты 1000 Гц. Далее, пользуясь данными табл. 2, последовательно наносят отметки на частотах от 50 Гц до 15 кГц. Плавная линия, проведенная через эти отметки, и будет частотной характеристикой исследуемого УНЧ. Горизонтальная линия, проведенная на уровне—3 дБ, соответствующем общепринятому допуску на неравномерность частотной характеристики, пересекает эту характеристику на частотах 75 Гц и примерно 11 кГц. Следовательно, полоса усиливаемых частот (полоса пропускания проверяемого усилителя) равна 75—11 000 Гц.

Высококачественные УНЧ кроме регуляторов громкости имеют обычно два раздельных регулятора тембра — по низшим и высшим частотам. Частотные характеристики таких усилителей снимают не менее трех раз. Сначала оба регулятора тембра устанавливают в положения, соответствующие наибольшему завалу низших и высшнх частот. Полученная характеристика может иметь вид кривой *1* (рис. 95). Затем ручки обоих регуляторов тембра поворачивают в другие крайние положения, соответствующие максимальному подъему низших и высших частот, а измерения производят при входном напряжении, которое в десять раз (на 20 дБ) меньше чувствительности усилителя. Эта характеристика может иметь вид кривой *2*. После этого ручки обоих регуляторов устанавливают в средние положения и делают третий цикл измерений. Если полученная характеристика соответствует или близка к кривой *3*, то на этом измерения заканчивают. Если же она значительно отличается от этой кривой, тогда путем проб находят положения ручек регуляторов, при которых характеристика получается наиболее прямолинейной, я на ручках регуляторов делают соответствующие отметки.

Из графика на рис. 95 ясно видно, что для даниого усилителя пределы регулировки тембра иа низшей частоте 63 Гц составляют

от +6 и до —6 дБ, а на высшей, равной 11 кГц, — примерно от +5 до —10 дБ.

Так, с помощью простых приборов лаборатории, пользуясь изложенной методикой, можно с достаточной для радиолюбителя точностью измерить основные параметры практически любого усилителя низкой частоты.

Настройка ВЧ тракта приемника прямого усиления

Предположим, что высокочастотный тракт приемника, включая детектор, смонтирован по схеме, показанной на рис. 96. Его входной настраиваемый контур образуют катушка индуктивности L_1 магнитной антенны $Ан_1$ и конденсаторы C_1 и C_2. Модулированный ВЧ сигнал радиостанции, на частоту которого настроен контур, через катушку связи L_2 и конденсатор C_3 поступает на базу транзистора T_1 первого каскада усилителя высокой частоты (УВЧ). В коллекторную цепь этого транзистора включен согласующий высокочастотный трансформатор с катушками индуктивности L_3, L_4. Через него сигнал, усиленный первым каскадом, попадает на базу транзистора T_2 второго каскада УВЧ. Усиленный им сигнал снимается с высокочастотного дросселя $Др_1$ и через конденсатор C_7 подается на вход детектора, выполненного по схеме удвоения на диодах $Д_1$ и $Д_2$. С резистора R_8, являющегося нагрузкой детектора и регулятором громкости, колебания звуковой частоты поступают на вход УНЧ.

Предположим, что УНЧ работает нормально, монтаж входной цепи, УВЧ и детекторного каскада проверен, режимы транзисторов соответствуют рекомендуемым. Можно, следовательно, приступить к настройке всего ВЧ тракта приемника. Роль индикатора настройки (индикатора выхода) может выполнять вольтметр переменного тока авометра, подключенный непосредственно к звуковой катушке громкоговорителя (на схеме *ИП*).

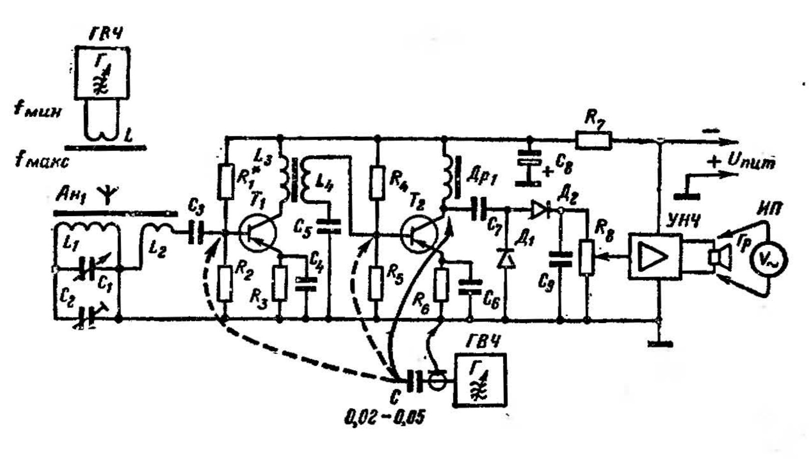


Рис. 96.

Прежде всего надо проверить — не возбуждается ли ВЧ тракт. Для этого, включив питание, движок переменного резистора R_8 устанавливают в положение максимальной громкости, а катушку индуктивности L_1 временно замыкают накоротко. При отсутствии самовозбуждения ВЧ тракта стрелка индикатора выхода должна находиться на нулевой отметке шкалы. Если же она беспорядочно колеблется, особенно при поднесении руки к транзисторам, а из громкоговорителя слышатся свисты, то это означает, что ВЧ тракт приемника самовозбуждается. Самовозбуждение устраняют путем изменения включения катушек связи, отдалением от магнитной антенны высокочастотных трансформатора и дросселя, экранированием их, а если надо, то и изменением режимов работы транзисторов.

После этого проверяют работу детектора. Для этого генератор ВЧ настраивают на любую из частот, перекрываемых входным контуром приемника. Сигнал генератора ВЧ модулируют колебаниями частотой 1 кГц генератора НЧ и через выходное гнездо *1 : 1* и конденсатор емкостью 0,02—0,05 мкФ подают на коллектор транзистора T_2. Регулятор громкости R_8 при этом устанавливают на максимум. Если детекторный каскад исправен, то в громкоговорителе должен хорошо прослушиваться тон модулирующего (низкочастотного) сигнала, а стрелка индикатора выхода должна отклониться от нулевой отметки шкалы. При изменении выходного напряжения генератора ВЧ громкость звука и угол отклонения стрелки индикатора выхода должны изменяться.

Затем тот же модулированный сигнал, но снимаемый с выходного гнезда *1 : 10* генератора ВЧ, подают (через тот же конденсатор) на базу транзистора T_2 и таким образом проверяют прохождение сигнала через второй каскад усилителя ВЧ. В этом случае в громкоговорителе снова должен быть слышен чистый тон модулирующего сигнала, а стрелка индикатора должна значительно отклониться от нулевой отметки.

Чтобы проверить оба усилительных каскада приемника, модулированный сигнал генератора ВЧ (также через конденсатор) подают на базу транзистора T_1. Но теперь соединительный кабель включают в выходное гнездо *1 : 100* генератора ВЧ, так как чувствительность приемника с базы транзистора T_1 намного выше, чем с базы транзистора T_2. При постепенном увеличении выходного напряжения генератора ВЧ так же плавно должны нарастать звук в громкоговорителе и увеличиваться показания индикатора выхода.

Усилитель высокой частоты приемника должен пропускать всю полосу частот, на которую рассчитывается его входной контур, от минимальной $f_{мин}$ до максимальной $f_{макс}$. Если, например, приемник рассчитан на прием радиовещательных станций в диапазоне средних волн (СВ), то $f_{мин}$ должна быть равна 525 кГц, а $f_{макс}$ — 1600 кГц. Судить о полосе частот усилителя можно, сняв его частотную характеристику. Для этого конденсатор C_3 отключают от базы транзистора T_1, чтобы исключить влияние входной цепи на частотную характеристику УВЧ, генератор ВЧ настраивают на частоту $f_{мин}$ приемника, а напряжение сигнала устанавливают таким, чтобы стрелка индикатора выхода оказалась примерно в середине шкалы. Если УНЧ приемника маломощный и напряжение на звуковой катушке громкоговорителя столь мало, что его трудно измерить вольтметром авометра, тогда в качестве индикатора выхода ипользуют транзисторный вольтметр переменного тока. Затем, не изменяя уровень сигнала, постепенно увеличивают его частоту и через

каждые 50—100 кГц записывают значение напряжения, показываемое индикатором выхода. Эти измерения продолжают до частоты $f_{макс}$ приемника. По результатам измерений строят частотную характеристику усилителя ВЧ (рис. 97). Для этого по горизонтальной оси откладывают в некотором масштабе значения частот от $f_{мин}$ до $f_{макс}$, а по вертикальной — показания индикатора выхода $U_{вых}$ и получившиеся точки соединяют плавной линией. В идеальном случае эта линия должна быть прямой, параллельной горизонтальной оси, что означает одинаковое усиление сигналов всех частот. Однако обычно с увеличением частоты сигнала ухудшаются усилительные свойства транзисторов, изменяются параметры колебательных контуров и т. д. Поэтому некоторая неравномерность частотной характеристики будет всегда, но если она невелика, это практически мало скажется на качестве работы приемника. Если же частотная характеристика очень неравномерна, то чувствительность приемника в различных участках диапазона будет существенно неодинаковой. В таких случаях принимают соответствующие меры, улучшающие частотную характеристику усилителя ВЧ приемника.

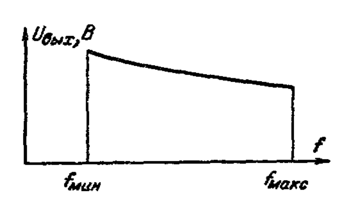


Рис. 97.

Следующий этап настройки тракта ВЧ приемника — «укладка» частот входного контура в заданный диапазон. Связь генератора ВЧ с магнитной антенной приемника в этом случае должна быть слабой. Для этого на отрезок круглого или плоского ферритового стержня наматывают 15—20 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛШО 0,1—0,15 и эту катушку индуктивности L подключают к выходу генератора ВЧ (см. рис. 96). Сердечник катушки устанавливают параллельно сердечнику магнитной антенны приемника.

Сначала генератор ВЧ настраивают на частоту $f_{мин}$ диапазона приемника, ротор конденсатора C_1 устанавливают в положение максимальной, а ротор подстроечного конденсатора C_2 в положение средней емкости. Перемещая катушку индуктивности L_1 приемника вдоль ферритового сердечника, настраивают входной контур на частоту генератора. Точность настройки определяют по максимальному показанию индикатора выхода. Затем генератор ВЧ перестраивают на максимальную частоту диапазона приемника $f_{макс}$, а ротор конденсатора C_1 ставят в положение минимальной емкости. Теперь входной контур настраивают на частоту генератора подстроечным конденсатором C_2, также добиваясь максимального показания индикатора выхода.

Чтобы снять частотную характеристику всего тракта ВЧ приемника, частоту сигнала генератора ВЧ постепенно увеличивают (не изменяя его уровня) и через каждые 50—100 кГц записывают значение напряжения, показываемое индикатором выхода. По результатам измерений строят частотную характеристику. Она должна быть примерно такой, как на рис. 97.

Настройка ВЧ тракта супергетеродина

Прищипиальная схема возможного варианта высокочастотного тракта однодиапазонного любительского супергетероднна показана на рис. 98. Каскады, собранные на транзисторах T_1 и T_2, образуют преобразователь частоты с отдельным гетеродином. Контуры L_5C_5, L_6C_7 и L_8C_{16} настроены на промежуточную частоту 465 кГц. Сигнал промежуточной частоты, усиленный транзистором T_3, через катушку связи L_9 подается на детектор, выполненный на диоде $Д_1$. С нагрузки детектора — резистора R_{11} сигнал звуковой частоты через конденсатор C_{19} поступает на вход усилителя низкой частоты (УНЧ).

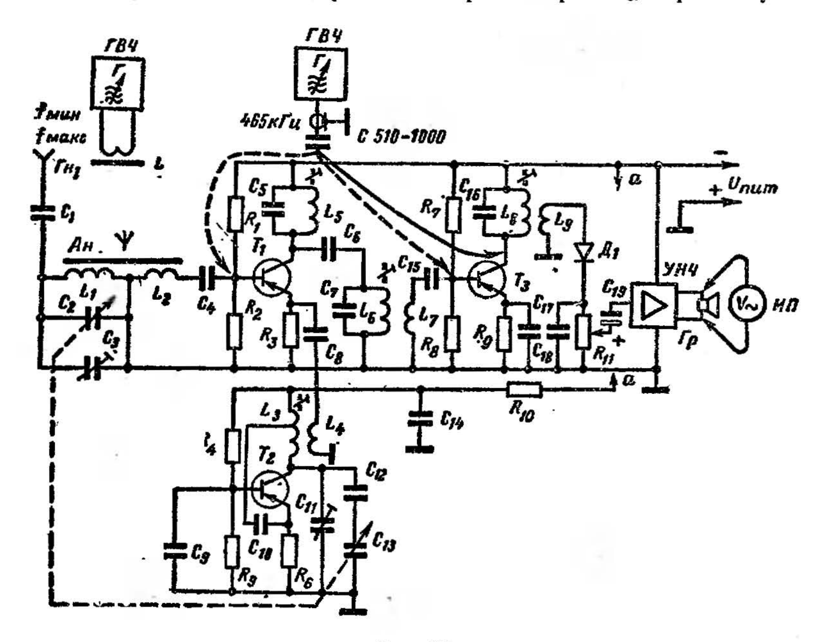


Рис. 98.

Через гнездо $Гн_1$ и конденсатор C_1 к выходному контуру $L_1C_2C_3$ может быть подключена внешняя антенна, улучшающая прием отдаленных радиостанций.

Индикатором настройки, как и прежде, может служить авометр, включенный на измерение переменных напряжений, или транзисторный вольтметр переменного тока, подключенный к звуковой катушке громкоговорителя (на схеме *ИП*).

Детектор этого приемника проверяют так же, как аналогичный каскад приемника прямого усиления, только частота модулированных колебаний генератора ВЧ должна быть равной 465 кГц.

Затем приступают к проверке и настройке усилителя промежуточной частоты (УПЧ), выполненного на транзисторе T_3. Гетеродин

на это время отключают от источника питания. Если УПЧ не самовозбуждается, то даже при поднесении металлической отвертки к деталям усилителя стрелка индикатора выхода не должна заметно колебаться.

После такой проверки усилителя модулированный сигнал промежуточной частоты 465 кГц подают (через конденсатор емкостью 510—1000 пФ) на базу транзистора T_3, предварительно отпаяв от него конденсатор C_{15}. Подстроечным сердечником катушки L_8 регулируют частоту контура L_8C_{16}, добиваясь наибольшего отклонения стрелки индикатора выхода.

Затем тот же сигнал генератора ВЧ подают на базу транзистора T_1, предварительно отключив от нее конденсатор C_4 и подпаяв на место конденсатор C_{15}. Сердечниками катушек L_5 и L_6 подстраивают контуры ПЧ, добиваясь наибольшей громкости и максимального показания индикатора выхода. Первым настраивают контур L_6C_7, вторым — контур L_5C_5. После этого, несколько ослабив сигнал, еще раз, начиная с контура L_8C_{16}, настраивают все контуры ПЧ точно на частоту 465 кГц.

После настройки УПЧ переходят к «укладке» частот входного контура в заданный диапазон. Для этого в коллекторную цепь транзистора T_1 вместо контура L_5C_5 включают резистор сопротивлением 4—5 кОм, коллектор этого транзистора через конденсатор емкостью 100—200 пФ соединяют непосредственно с детектором, предварительно отключив от него катушку связи L_9. Супергетеродин в таком случае превращается в приемник прямого усиления с каскадом усиления ВЧ на транзисторе T_1. Питание на транзистор T_2 гетеродина пока не подают.

Входной контур $L_1C_2C_3$ настраивают на заданный диапазон частот точно так же, как в приемнике прямого усиления. Затем восстанавливают тракт ПЧ и включают питание гетеродина. Модулированный сигнал генератора ВЧ, настроенного на частоту $f_{мин}$ диапазона, подают на вход приемника через катушку L. Приемник настраивают на сигнал этой частоты при наибольшей емкости конденсаторов C_2 и C_{13}, изменяя подстроечным сердечником индуктивность катушки L_3 гетеродинного контура. При точной настройке уровень звука в громкоговорителе и показание индикатора на выходе приемника будут наибольшими. Далее производят сопряжение настроек контуров на высокочастотном конце диапазона. Для этого генератор ВЧ перестраивают на частоту $f_{макс}$ диапазона, ротор блока конденсаторов КПЕ (C_2C_{13}) устанавливают в положение минимальной емкости и подбором емкости подстроечного конденсатора C_{11}, входящего в гетеродинный контур, добиваются максимального отклонения стрелки индикатора выхода.

Любое изменение емкости подстроечного конденсатора контура гетеродина влияет и на настройку низкочастотного конца диапазона. Поэтому после подбора емкости этого конденсатора надо повторить сопряжение настроек контуров на низкочастотном конце, затем снова подстроить контуры на высокочастотном конце диапазона. И так несколько раз, пока настройки входного и гетеродинного контуров не будут сопряжены на обоих концах диапазона.

Точно так же, пользуясь описанными приборами, настраивают высокочастотные тракты супергетеродинов с однотранзисторными преобразователями частоты.

О других видах радиотехнических измерений можно узнать, прочитав литературу, список которой приведен в конце книги.

Глава двенадцатая

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Корпус измерительного прибора. Все измерительные приборы, описанные в этой книге, смонтированы в корпусах, изготовленных из листового алюминиевого сплава марки АМц-II толщиной 1; 1,5 и 2 мм. Этот материал отличается достаточно высокой прочностью, хорошей пластичностью и хорошо обрабатывается резанием. Вместо него, конечно, можно использовать другие металлы и сплавы, напри-

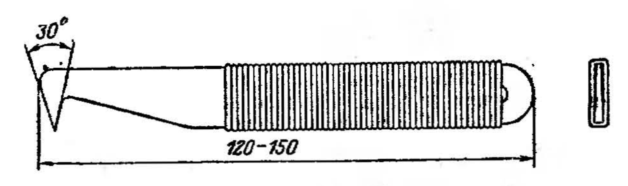


Рис. 99.

мер сплавы АМц-М, АМг, латунь Л62 и даже сталь марок 3, 10кп и других той же толщины. Неплохо выглядит корпус, изготовленный из пластин фольгированного гетинакса или стеклотекстолита, спаянных между собой с внутренней стороны (фольгированные стороны пластин должны образовать внутреннюю поверхность корпуса).

Если металлический лист имеет неровности, то прежде чем вырезать заготовки деталей корпуса, его необходимо тщательно выправить. Делать это рекомендуется ударами молотка через пластину из гетинакса или текстолита толщиной 8—10 мм на ровной и чистой стальной плите. Ни в коем случае нельзя ударять молотком непосредственно по выправляемому листу, так как металл в местах удара немного утоньшается и вытягивается, образуя впадину, устранить которую уже не удастся никакими способами.

Заготовки деталей вырезают обычно ножницами по металлу, однако при этом края заготовок неизбежно деформируются и их вновь придется править. Если металл достаточно мягок (алюминиевые сплавы, перечисленные выше), то более приемлем, хотя и несколько более трудоемок, способ вырезания заготовок с помощью специального резака (рис. 99), изготовленного из старого ножовочного полотна. Такие резаки обычно используют для резки листовых пластмасс, поэтому он еще пригодится при изготовлении накладок, изоляционных планок, монтажных плат и других деталей приборов.

Сначала металлический лист с каждой стороны надрезают по стальной линейке примерно на одну треть его толщины. Затем, осторожно отгибая материал на угол 30—40° в обе стороны, отламывают полосу нужной ширины. Опилив кромку излома напильником, точно так же отрезают от полосы пластину нужной длины. Эту длину необходимо брать на 5—10 мм больше расчетной.

Если, например, расчетная длина заготовки несущей части корпуса авометра (см. рис. 22) равна 64+126+64=254 мм, то длину заготовки следует взять равной 260—265 мм. Лучше отрезать лишний материал после гибки, чем получить одну из полок детали меньшей длины.

Наиболее ответственная операция изготовления деталей корпуса — это гибка. От того, насколько хорошо оиа выполиена, зависят и стыковка деталей корпуса и его внешний вид.

Сгибать металлический лист необходимо поперек иаправления проката, которое хорошо видио по характерным рискам или полосам на поверхиости металла. Это следует учитывать и при вырезании заготовки из листа. Место изгиба размечают стальной чертилкой (отрезок стальной проволоки диаметром 2—3 мм с остро заточенным концом) или штопальной иглой по стальной линейке. Для облегчения

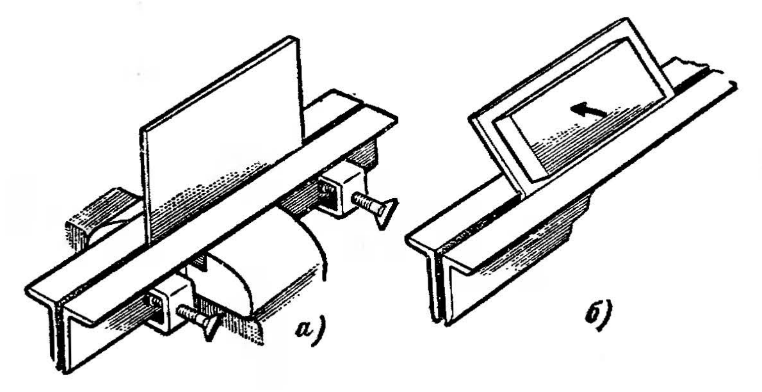


Рис. 100.

гибки и получеиия минимального наружного радиуса изгиба рекомеидуется надрезать металл по линии гибки тем же резаком с одиой стороиы листа на глубину, примерно равную одной трети его толщины. В результате ослаблеиия сечения металл будет гнуться только в этом месте и прилегающие к месту изгиба участки металла ие будут деформярованы.

Для гибки заготовку зажимают в тисках между двумя стальными полосами или угольниками (рис. 100, *а*). Если ширина заготовки больше ширины губок тисков, то полосы или угольнпки необходимо дополнительно стянуть (в непосредствеиной близости от заготовкн) струбцинками или винтами с гайками. В последнем случае в угольниках необходимо просверлить ряд отверстий соответствующего диаметра с шагом 10—15 мм, чтобы можно было закреплять заготовки разной ширины.

Несколько ослабив сжатие тисков, заготовку устанавливают так, чтобы нижияя кромка надреза совместилась с верхней плоскостью угольников нли полос. Сжав тиски, заготовку вначале гнут в сторону надреза вручиую, пользуясь куском доски или толстой фанеры (рис. 100, *б*). После того как заготовка согнута примерно иа половину нужиого угла, приступают к окончательной обработке места изгиба. На заготовку в этом месте кладут пластнну из гетинакса или текстолита (ту же, которая использовалась при правке) и, ударяя по ней молотком, придают детали нужную форму. И в этом случае следует избегать ударов молотка непосредственно по металлу, так как иначе внешний вид детали будет испорчеи. Необходнмо также пом-

нить, что поверхности полос, угольников и пластины, через которую наносятся удары, должны быть очищены от опилок и грязи, иначе все неровности и шероховатости, имеющиеся на них, перейдут на металлический лист.

Чтобы размеры деталей корпуса после гибки получились в точности равными тем, которые указаны на чертежах, поступают следующим образом. Берут полосу шириной 20—30 мм из того же материала и параллельно одной из ее узких сторон на расстоянии, например, 40 мм от нее чертят риску. По этой риске делают надрез с таким расчетом, чтобы сама риска была бы кромкой надреза (рис. 101, *а*). Затем полосу сгибают на нужный угол и измеряют расстояние от ее базового конца до внешней стороны изогнутой части (рис. 101, *б*). Предположим, что это расстояние оказалось равным 41,5 мм. Тогда разницу в размерах, равную 1,5 мм (41,5—40), и следует учитывать при гибке заготовок из материала такой толщины. Так, чтобы получить внешний размер, равный 130 мм, линию изгиба необходимо размечать на расстоянии 128,5 мм от базового конца детали.

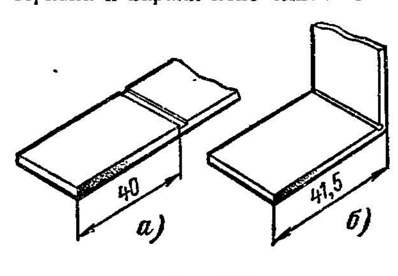


Рис. 101.

При изготовлении корпусов, состоящих из двух П-образных частей, первой рекомендуется делать несущую часть, т. е. ту, на которой крепятся все детали прибора. Ширину заготовки другой детали — крышки определяют по фактически получившимся внутренним размерам несущей части.

После гибки переднюю стенку несущей части корпуса размечают в соответствии с разметочным чертежом. Предварительно разметку вычерчивают на листе миллиметровой бумаги. Лист с разметкой приклеивают несколькими каплями резинового клея на переднюю стенку и с помощью кернера или острого шила (если материал достаточно мягок) переносят на металл центры круглых отверстий и контуры отверстий иной формы. Резиновый клей хорош тем, что разметочный лист потом легко снять. Удалив лист, в намеченных центрах сверлят технологические отверстия диаметром 1,3—1,5 мм и зенкуют их с обеих сторон на глубину 0,2—0,3 мм сверлом диаметром 2,5—3 мм, заточенным под угол 90°. После этого с внутренней стороны передней стенки корпуса небольшими струбцинками закрепляют прозрачную накладку из органического стекла, которая будет защищать от повреждения надписи, поясняющие назначение органов управления прибора. Чтобы не повредить поверхность накладки, ее желательно обернуть тонкой бумагой. Размеры накладки должны быть такими, чтобы она свободно входила в корпус. Накладку вырезают тем же резаком. Следует только помнить, что некоторые марки органического стекла очень хрупки, поэтому надрезать этот материал обязательно надо с двух сторон на глубину не менее трети его толщины. Чтобы отломить нужный кусок материала, лист кладут на край ровного стола так, чтобы надрез совпал с кромкой стола. Лежащую на столе часть листа прижимают куском ровной доски, а другой такой же кусок кладут на свисающую часть листа и быстро надав-

ливают на него, стремясь к тому, чтобы усилие было приложено в середине надреза.

Закрепив накладку на передней стенке корпуса, в ней сверлят необходимые отверстия (см. рисунки внешнего вида приборов). Для направления сверла используют отверстия в самой передней стенке. Сверлят отверстия тем же сверлом, что и раньше. После этого накладку снимают и дальнейшую обработку корпуса и накладки ведут раздельно.

Отверстия прямоугольной формы вначале высверливают по контуру сверлом диаметром 2,5—3 мм с таким расчетом, чтобы расстояние между краями отверстий и контуром высверливаемого отверстия прямоугольной формы было не менее 0,2—0,3 мм. Затем удаляемую часть материала вырубают острым зубилом (в пластмассе — выпиливают лобзиком), после чего опиливают напильниками до получения нужной формы и размеров. Круглые отверстия в корпусе и накладке рассверливают до нужного диаметра и зенкуют сверлами вдвое большего диаметра, заточенными под угол 90°. Глубину зенковки под заклепки и винты с потайной головкой подбирают такой, чтобы их головки полностью утапливались в материал и не выступали над его поверхностью. Отверстия диаметром больше 6—8 мм рекомендуется распиливать до нужного размера круглыми и полукруглыми напильниками, проверяя время от времени совпадение отверстий в обеих деталях (корпуса и накладке).

Для крепления крышки в авометре, измерителе *RCL*, блоке питания и генераторах НЧ и ВЧ с внутренней стороны несущей части корпуса приклепывают уголки, согнутые из алюминиевого листа толщиной 1,5—2 мм или вырезанные из дюралюминиевого уголкового профиля размерами 10×10 мм. Заклепки, крепящие уголки к корпусу, должны быть из того же материала, что и соединяемые детали. Если же материал заклепок окажется более твердым, чем детали, то получить хорошее соединение будет трудно, так как при клепке быстрее будет деформироваться материал деталей, что ухудшит их внешний вид. Уголки приклепывают с таким расчетом, чтобы крышка устанавливалась заподлицо с кромками несущей части корпуса.

Отверстия в уголках под винты крепления крышки следует сверлить сразу в обеих деталях. Для этого крышку устанавливают на место, обматывают собранный таким образом корпус прочными нитками или шпагатом, а затем по разметке на крышке сверлят отверстия в ней и угольнике сверлом, диаметр которого равен внутреннему диаметру резьбы крепящих винтов. При резьбе М2 диаметр сверла должен быть равен 1,5 мм, М3—2,5 мм и т. д. После этого детали корпуса разъединяют, отверстия в крышке рассверливают до диаметра на 0,3—0,5 мм больше, чем диаметр винтов, а в отверстиях уголков нарезают резьбу. В деталях из мягких алюминиевых сплавов резьбу рекомендуется нарезать только первым метчиком (на нем одна кольцевая риска), смазывая его хозяйственным мылом, которое уменьшает трение и дает возможность получить чистую, без задиров, резьбу. Затем в каждое резьбовое отверстие поочередно ввинчивают (также с мылом) один из винтов, которыми будет крепиться крышка. Нарезанные таким способом отверстия будут служить достаточно долго.

В уголках, изготовленных из дюралюминия, резьбу можно нарезать обоими метчиками (первым и вторым, отличительным знаком которого является буква Е), но также с применением мыла в качестве смазки.

Корпус прибора можно изготовить и из отдельных частей, соединив их друг с другом алюминиевыми уголками, подобными тем, которые использованы для крепления крышки. В этом случае все отверстия в передней стенке и прозрачной накладке удобнее вырезать до сборки.

В приборах, выполненных в виде приставок к авометру (испытатель транзисторов, вольтметры постоянного и переменного токов), отверстия под винты крепления крышки также сверлят сразу в обеих деталях. Но поскольку материалом корпусов этих приборов служит алюминиевый сплав толщиной всего 1 мм, то резьба получается непрочной и быстро изнашивается. Для крепления крышки в этом случае удобно использовать специальные резьбовые втулки, развальцованные в отверстиях несущей части корпуса (рис. 102). Вместо них можно использовать небольшие (размерами 6×20 мм) стальные и дюралюминиевые (толщиной 1,5—2 мм) пластинки с резьбовыми отверстиями в центре или гайки, приклеив их с внутренней стороны полок клеем БФ-2 или «Суперцемент».

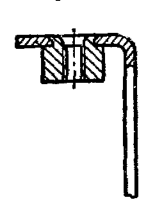


Рис. 102.

Чтобы готовый корпус имел хороший внешний вид, его необходимо покрасить. Лучшей краской в любительских условиях являются нитроэмали различных цветов, имеющиеся в широкой продаже в аэрозольной упаковке. Детали перед покраской тщательно обезжиривают бензином или ацетоном, затем подвешивают на проволоке так, чтобы легко было красить все поверхности. Вначале деталь грунтуют, т. е. покрывают одним-двумя слоями специальной краски — грунта, также выпускаемого в аэрозольной упаковке. Если образовались подтеки грунта, то его излишки следует сразу же удалить марлевым тампоном, смоченным ацетоном, а когда грунт высохнет, вновь загрунтовать счищенное место.

Нитроэмаль необходимо наносить несколькими тонкими слоями, давая каждому из них хорошо просохнуть. Перед нанесением последнего слоя поверхности окрашенной детали шлифуют мелкой наждачной шкуркой с водой. После такой подготовки окрашенная последним слоем нитроэмали деталь будет иметь красивый законченный вид. Окраску рекомендуется производить на открытом воздухе в теплую солнечную погоду.

Очень красиво выглядят приборы, если детали их корпусов обклеить специальной поливинилхлоридной пленкой, имитирующей ценные породы древесины. В этом случае пленкой прикрывают только наружную поверхность несущей части и крышки, не затрагивая их кромок. Кромки лучше опилить личным напильником, а затем отшлифовать микронной шкуркой и отполировать до блеска пастой ГОИ, нанесенной на суконную тряпочку.

И, наконец, надписи, поясняющие назначение гнезд и органов управления прибора, наносят тушью на полосках плотной бумаги разных цветов, склеенных встык с обратной стороны с помощью узкой полоски тонкой бумаги или склеивающей ленты КПТ. Контуры отверстий в этой детали переводят остро заточенным карандашом по отверстиям в прозрачной накладке, закрывающей ее. Затем отверстия вырезают скальпелем или острым ножом, положив бумажные полоски с надписями на кусок гладкой доски или фанеры.

Монтажная плата. Платы приборов можно изготовить из гетинакса, текстолита или органического стекла толщиной 1,5—2 мм.

Надо только помнить, что органическое стекло быстро размягчается при нагревании, поэтому плату из него следует делать только в крайнем случае.

Разметку монтажной платы, как и передней стенки корпуса, вначале вычерчивают на миллиметровой или тетрадной (в клеточку) бумаге. Размеченный лист приклеивают резиновым клеем к заготовке платы, острым шилом переносят на нее центры всех отверстий, затем высверливают их сверлами требуемого диаметра.

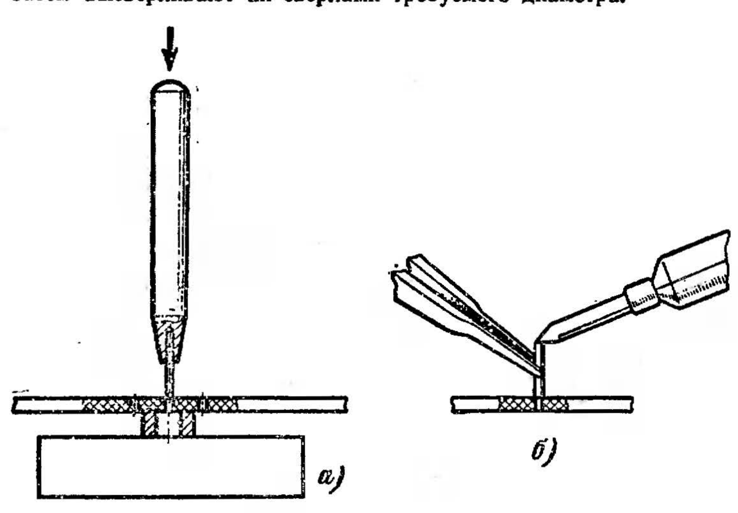


Рис. 103.

При сверлении отверстий в гетинаксе материал с обратной стороны (при выходе сверла) часто скалывается. Чтобы этого не случилось, вначале следует сверлить отверстия диаметром примерно вдвое меньше, чем это необходимо по чертежу. Затем их зенкуют с обеих сторон сверлом, заточенным под угол 90°, диаметром на 0,6—0,8 мм больше расчетного и только после этого отверстия рассверливают до нужного диаметра. Такая последовательность обработки отверстий полностью устраняет скалывание материала, а сами отверстия получаются точными и чистыми, так что никакой их дополнительной обработки не требуется.

Опорными точками для монтажа деталей на платах приборов служат стойки — отрезки медной луженой проволоки, запрессованные в соответствующие отверстия плат. Чтобы стойки держались прочно, отверстия под них должны быть на 0,05—0,1 мм меньше их диаметра. Для запрессовки стоек удобно использовать специальную оправку (рис. 103, *а*), изготовленную из латунного или стального прутка диаметром 5—8 мм. Стойку вставляют в глухое отверстие в оправке и, направив конец стойки в отверстие, запрессовывают ее в плату легкими ударами молотка по верхнему (на рисунке) концу оправки. Если необходимо, чтобы стойка выступала с обеих сторон платы, под нее подкладывают прокладку нужной толщины с отвер-

стием диаметром 2,5—3 мм. В платы, изготовленные из органического стекла, стойки запрессовывают нагретым паяльником (рис. 103, *б*).

Контакты гнезд и зажимов. Контакты самодельных гнезд, примененных в приборах лаборатории, изготавливают из хорошо пружинящего материала (бронзы, нагартованной латуни) толщиной 0,4—0,5 мм. Чтобы все контакты получились одинаковыми, рекомендуем придерживаться следующей технологии. От листа металла отрезают полосу шириной 31,5 мм с таким расчетом, чтобы направле-

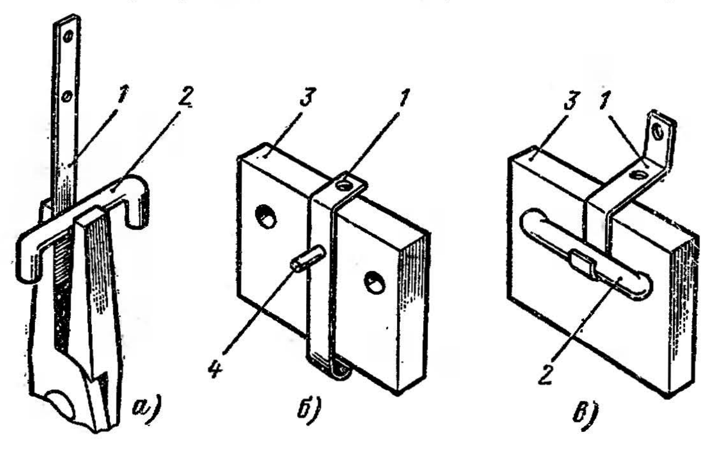


Рис. 104.

ние проката было параллельно ширине заготовки. На ней размечают 50 узких полосок (именно столько гнезд требуется для приборов) шириной 4 мм, а на них наносят центры отверстий под винты крепления и для припайки монтажных проводов. После кернения во всех полосках сразу сверлят отверстия диаметром 2,2 мм. Сняв заусенцы сверлом примерно вдвое большего диаметра, вырезают заготовки контактов, рихтуют (выравнивают) их на стальной плите, а острые кромки притупляют надфилем.

Для гибки контактов целесообразно изготовить несложное приспособление, устройство которого показано на рис. 104. Его основной деталью является пластина *3* из дюралюминия, стали или пластмассы (гетинакс, текстолит, органическое стекло) толщиной 4—5 мм с отверстиями под штифт *4* и проволочную скобу *2*. Гибку начинают с того, что нижнему концу заготовки *1* с помощью плоскогубцев придают форму крючка (рис. 104, *а*). Затем контакт надевают на штифт *4* и изгибают на угол 90° (рис. 104, *б*). После этого штифт извлекают из пластины *3*, вставляют скобу *2*, предварительно положив под нее изогнутый в виде крючка конец заготовки, и изгибают ее, как показано на рис. 104, *в*. Для экономии времени каждую из операций рекомендуется выполнять сразу со всеми заготовками.

Примерно в такой же последовательности изготавливают и детали зажимов, примененных в испытателе транзисторов и измерителе *RCL*. В этом случае из пружинящего материала вырезают полосы шириной 38 и 51 мм. После разметки и сверления отверстий выреза-

ют нужное число заготовок, рихтуют их на стальной плите и притупляют острые кромки. Концы заготовок отгибают с помощью приспособления аналогично только что описанному, а окончательную гибку производят на оправках, изготовленных из гетинакса или текстолита, как показано на рис. 105.

Разные советы. Неровную медную проволоку диаметром до 1—1,5 мм легко выпрямить следующим простым способом. Один конец проволоки закрепляют в тисках, другой захватывают плоскогубцами и сильно тянут до тех пор, пока проволока не начнет удлиняться. После такой обработки проволока становится несколько тоньше, но зато жестче. Это объясняется наклепом, возникающим при вытягивании проволоки.

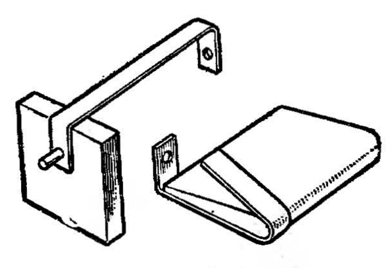


Рис. 105.

При пайке соединений на монтажной плате вместо кусковой канифоли удобно пользоваться спирто-канифольным флюсом, представляющим собой раствор одной весовой части канифольной крошки в трех-четырех частях этилового спирта. На место пайки такой флюс наносят деревянной палочкой или кисточкой. Хранят спирто-канифольный флюс в стеклянной посуде с плотно притертой пробкой. При отсутствии спирта флюс можно приготовить на основе ацетона (весовые соотношения те же).

Укоротить длинный винт можно, ввинтив его в резьбовое отверстие в стальной пластине подходящей толщины. Выступающий конец винта откусывают кусачками, а оставшуюся часть спиливают напильником заподлицо с поверхностью пластины. Способ хорош тем, что деформированная резьба на конце укороченного винта автоматически восстанавливается при его вывинчивании из пластины. Подобным же образом можно укоротить и заклепку. Естественно, что в этом случае отверстие должно быть без резьбы, а толщина пластины должна в точности соответствовать нужной длине заклепки.

Кодироввнные обозначения номинальных значений сопротивлений, емкостей и допускаемых отклонений на резисторах и конденсвторах

Номинальиые значения сопротивлений и допускаемые отклонения от них на большинстве типов резисторов наносятся в сокращенной форме специальным кодом. Согласно ГОСТ 11076-69 еднницы сопротивления обозначают буквами Е (ом), К (кнлоом) и М (мегаом). Например, резисторы сопротивлением 36 Ом маркируются 36Е, 91 Ом — 91Е, 10 кОм — 10К, 82 кОм — 82К и т. д. Сопротивление от 100 до 1000 Ом и от 100 до 1000 кОм выражают соответственно в долях килоома и мегаома, причем на месте нуля и запятой указывают соответствующую единицу сопротивления: 330 Ом=0,33 кОм — К33; 750 Ом=0,75 кОм — К75; 270 кОм=0,27 МОм—М27; 910 кОм=0,91 МОм—М91 и т. д.

Если номинальное сопротивление выражается целым числом с дробью, то единицу измерения ставят на месте запятой: 3,3 кОм — 3К3, 5,1 Ом — 5Е1, 4,7 МОм — 4М7 и т. д.

Для обозиачения допускаемых отклонений сопротивления от номинального значения используют букны Р, И, С и В. Первая из них соответствует отклонеиию ±1%, вторая ±5%, третья ±10% и четвертая ±20%. Таким образом, надпись на корпусе резистора 3К3С обозначает номинальиое сопротивление 3,3 кОм с допускаемым отклонением ±10%, надпись М47Р — сопротивленне 470 кОм с отклонеинем ±1% и т. д.

Отсутствие буквы допускаемого отклонения в некоторых случаях также означает вполне определенный допуск. Например, для резисторов типа УЛИ отсутствие буквы означает допускаемое отклонение ±3%, а для резисторов типа ТВО ±20%.

Тот же ГОСТ распространяется н на конденсаторы постоянной емкости. Единнцы емкости обозначают буквами П (микофарада), Н (нанофарада) и М (микрофарада). Напомним, что 1 микофарада$=10^{-12}$ фарады, а 1 нанофарада$=10^{-9}$ фарады. Емкости от 0 до 100 пФ обозначают на корпусах конденсаторов в пикофарадах, ставя букву П либо после числа (если оно целое), либо на месте запятой (2,2 пФ — 2П2; 8,2 пФ — 8П2; 47 пФ — 47П и т. д.). Емкостн от 100 пФ (0,1 нФ) до 0,1 мкФ (100 нФ) обозначают в нанофарадах, а от 0,1 мкФ (100 нФ) и ныше — н микрофарадах. Если емкость выражена в долях нано- или микрофарады, единипу измерения пишут иа месте нуля н запятой (330 пФ=0,33 нФ — Н33; 820 пФ=0,82 нФ — Н82; 0,22 мкФ — М22 и т. д.), а если число состоит

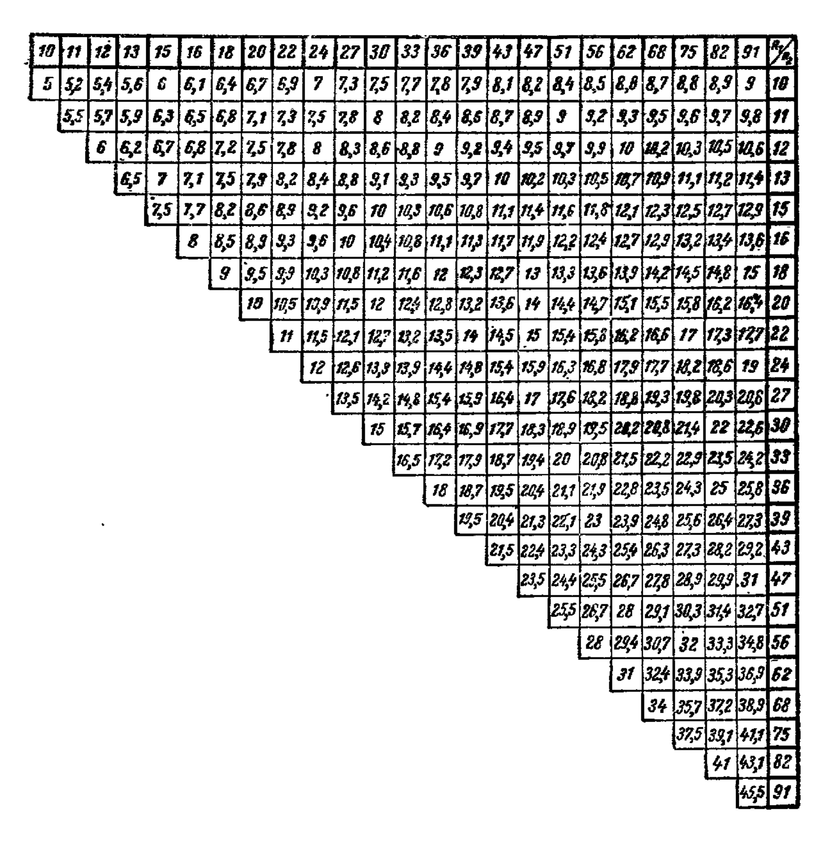
из целой части и дроби — на месте запятой (6200 пФ = 6,2 нФ — 6Н2; 4,7 мкФ — 4М7 и т. д.). Емкости же, выраженные целым числом соответствующих единиц измерения, указывают обычным способом (0,01 мкФ — 10Н; 20 мкФ — 20М и т. д.).

Допускаемые отклонения емкости от номинального значения обозначают теми же буквами, что и на резисторах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Сопротивление двух параллельно соединенных резисторов

При калибровке шкал вольтметра, амперметра, измерительного моста и других измерительных приборов часто требуется резистор нестандартного сопротивления. В этом случае его можно составить



10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91	R_1/R_2
5	5,2	5,4	5,6	6	6,1	6,4	6,7	6,9	7	7,3	7,5	7,7	7,8	7,9	8,1	8,2	8,4	8,5	8,8	8,7	8,8	8,9	9	10
	5,5	5,7	5,9	6,3	6,5	6,8	7,1	7,3	7,5	7,8	8	8,2	8,4	8,6	8,7	8,9	9	9,2	9,3	9,5	9,6	9,7	9,8	11
		6	6,2	6,7	6,8	7,2	7,5	7,8	8	8,3	8,6	8,8	9	9,2	9,4	9,5	9,7	9,9	10	10,2	10,3	10,5	10,6	12
			6,5	7	7,1	7,5	7,9	8,2	8,4	8,8	9,1	9,3	9,5	9,7	10	10,2	10,3	10,5	10,7	10,9	11,1	11,2	11,4	13
				7,5	7,7	8,2	8,6	8,9	9,2	9,6	10	10,3	10,6	10,8	11,1	11,4	11,6	11,8	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9	15
					8	8,5	8,9	9,3	9,6	10	10,4	10,8	11,1	11,3	11,7	11,9	12,2	12,4	12,7	12,9	13,2	13,4	13,6	16
						9	9,5	9,9	10,3	10,8	11,2	11,6	12	12,3	12,7	13	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15	18
							10	10,5	10,9	11,5	12	12,4	12,8	13,2	13,6	14	14,4	14,7	15,1	15,5	15,8	16,2	16,4	20
								11	11,5	12,1	12,7	13,2	13,5	14	14,5	15	15,4	15,8	16,2	16,6	17	17,3	17,7	22
									12	12,6	13,3	13,9	14,4	14,8	15,4	15,9	16,3	16,8	17,9	17,7	18,2	18,6	19	24
										13,5	14,2	14,8	15,4	15,9	16,4	17	17,6	18,2	18,8	19,3	19,8	20,3	20,6	27
											15	15,7	16,4	16,9	17,7	18,3	18,9	19,5	20,2	20,8	21,4	22	22,6	30
												16,5	17,2	17,9	18,7	19,4	20	20,8	21,5	22,2	22,9	23,5	24,2	33
													18	18,7	19,5	20,4	21,1	21,9	22,8	23,5	24,3	25	25,8	36
														19,5	20,4	21,3	22,1	23	23,9	24,8	25,6	26,4	27,3	39
															21,5	22,4	23,3	24,3	25,4	26,3	27,3	28,2	29,2	43
																23,5	24,4	25,5	26,7	27,8	28,9	29,9	31	47
																	25,5	26,7	28	29,1	30,3	31,4	32,7	51
																		28	29,4	30,7	32	33,3	34,8	56
																			31	32,4	33,9	35,3	36,9	62
																				34	35,7	37,2	38,9	68
																					37,5	39,1	41,1	75
																						41	43,1	82
																							45,5	91

Рис. 106.

из двух или более резисторов, соединив их последовательно или параллельно. При последовательном соединении общее сопротивление определить легко — оно равно сумме сопротивлений соединяемых резисторов, а при параллельном его приходится рассчитывать по известной формуле

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Чтобы облегчить расчет, можно воспользоваться таблицей (рис. 106), предложенной радиолюбителем Г. Толмасовым из Ташкентской области.

В верхнем и правом рядах таблицы указаны числа, соответствующие стандартному ряду номинальных сопротивлений. Сопротивление двух параллельно соединенных резисторов находится на пересечении соответствующих горизонтального и вертикального рядов. Например, если необходим резистор сопротивлением 17 кОм, то его можно составить из резисторов сопротивлением 47 и 27 кОм; резистор сопротивлением 9,5 кОм — из резисторов сопротивлением 13 и 36, 20 и 18,12 и 47 или 11 и 68 кОм.

Если необходимо получить сопротивление на порядок ниже или выше указанных в таблице, числа в верхнем и правом рядах также следует делить или умножить на 10. Так, при необходимости иметь резистор сопротивлением 1,4 кОм параллельно соединяют резисторы сопротивлением 2 и 4,7 кОм (числа 20 и 47) или 2,2 и 3,9 кОм (числа 22 и 39); если же нужен резистор сопротивлением 140 кОм, то используют резисторы сопротивлением 200 и 470 кОм (числа те же — 20 и 47) или 220 и 390 кОм.

Таблица верна и для определения результирующей емкости двух последовательно соединенных конденсаторов. Например, если необходимо получить емкость 158 пФ, то надо взять конденсаторы емкостью 200 и 750 пФ (числа 20 и 75) или 220 и 560 пФ (числа 22 и 56) и т. д.

Само собой разумеется, по таблице можно найти и результат, который получится при соединении резисторов или конденсаторов известных номиналов. Эта задача обратна той, которая решалась выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Власенков А. Т., Солдатенков В. А.** Основные измерения в практике радиолюбителя. М., ДОСААФ, 1971. 112 с. с ил.

2. **Гумеля Е. Б.** Налаживание транзисторных приемников. М., «Энергия», 1971. 48 с. с ил.

3. **Дудич И. И.** Простые измерительные приборы. М., «Энергия», 1970. 72 с. с ил.

4. **Криволапов В.** Электронный осциллограф. Практика измерений. — «Радио», 1970, № 12, с. 43—45.

5. **Меерсон А. М.** Радиоизмерительная техника. М., «Энергия», 1967. 400 с. с ил.

6. **Сонин В. К., Сонин Е. К.** Приборы для визуальной настройки радиолюбительской аппаратуры. М., «Энергия», 1963. 72 с. с ил.

7. **Ринский В. И.** Измерительная лаборатория радиолюбителя. М., «Энергия», 1971. 168 с. с ил.

8. **Фелистак Ю. И.** Правильно ли настроен приемник? М., «Энергия», 1965. 48 с. с ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

НАШИМ ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Энергия» и редакция МРБ книг не высылают. Литературу по вопросам радиоэлектроники и радиолюбительства можно приобрести в магазинах научно-технической книги или в универсальных магазинах, где есть отдел научно-технической книги.

Публикации о книгах, которые будут издаваться в текущем году, ежегодно печатаются в первых номерах журнала «Радио».

Радиолюбители, живущие в местах, где нет книжных магазинов, могут обратиться в республиканские магазины научно-технической книги своей республики.

Редакция МРБ не имеет радиотехнической консультации.

Платную письменную консультацию дает «Радиотехническая консультация» при Центральном радиоклубе СССР им. Э. Т. Кренкеля. Ее адрес: 103012, Москва, К-12, ул. Куйбышева, 4, пом. 12.

ВИКТОР ГАВРИЛОВИЧ БОРИСОВ
ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ ФРОЛОВ

Измерительная лаборатория начинающего радиолюбителя

Редактор А. А. Бредов
Редактор издательства А. Г. Козлова
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор О. Д. Кузнецова
Корректор И. А. Володяева

Сдано в набор 19/XII 1975 г. Подписано к печати 31/III 1976 г. Т-06927. Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 1. Усп. печ. л. 7,14. Уч.-изд. л. 8,97. Тираж 60 000 экз. Зак. 423. Цена 40 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 600610, г. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.